

科学技術動向

2001年 11月号 No. 8

11月号の内容

1. 科学技術トピックス

1.1 ライフサイエンス分野

- (1) 再生医療の海外基礎研究開発状況
ー特に幹細胞生物学研究を中心にー
- (2) セレラ社と国際チームが予測したヒトの新規遺伝子は
重なりが少ない

1.2 情報通信分野

- (1) インテル高速プロセッサ用の新実装技術を発表

1.3 環境分野

- (1) COP 7 会合で最終合意が成立
- (2) マツノサイセンチュウに関する国際ワークショップ

1.4 ナノテク・材料分野

- (1) 自己組織的手法による銀ナノワイヤーの形成

1.5 エネルギー分野

- (1) 中国における省エネルギー技術普及の必要性
- (2) 発電システムの予防保全を支援する情報システムで
原子力発電の稼働率向上

1.6 製造技術分野

- (1) 高集積化されたマイクロ化学システム

1.7 社会基盤分野

- (1) 地震による絶対重力変化を初めて検出

1.8 フロンティア分野

- (1) 宇宙太陽発電の将来展望

2. 特集：再生医学の最近の動向

ー幹細胞を用いた再生医学についてー

3. 特集：科学コミュニケーションの動向

ー科学ジャーナルを取り巻く状況ー

4. 特集：わが国の研究成果(論文)に対する国際評価

ー日本発の“一流論文”の増加ー

Science & Technology Trends

November 2001 No.8

文部科学省 科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター

今月号の概要 ----- 1

1. 科学技術トピックス -----

1.1 ライフサイエンス分野 ----- 4

(1) 再生医療の海外基礎研究開発状況 ー特に幹細胞生物学研究を中心にー

(2) セレラ社と国際チームが予測したヒトの新規遺伝子は重なりが少ない

1.2 情報通信分野 ----- 5

(1) インテル高速プロセッサ用の新実装技術を発表

1.3 環境分野 ----- 6

(1) COP 7 会合で最終合意が成立

(2) マツノサイセンチュウに関する国際ワークショップ

1.4 ナノテク・材料分野 ----- 8

(1) 自己組織的手法による銀ナノワイヤーの形成

1.5 エネルギー分野 ----- 9

(1) 中国における省エネルギー技術普及の必要性

(2) 発電システムの予防保全を支援する情報システムで原子力発電の稼働率向上

1.6 製造技術分野 ----- 10

(1) 高集積化されたマイクロ化学システム

1.7 社会基盤分野 ----- 11

(1) 地震による絶対重力変化を初めて検出

1.8 フロンティア分野 ----- 12

(1) 宇宙太陽発電の将来展望

2. 特集：再生医学の最近の動向 ー幹細胞を用いた再生医学についてー

2.1 はじめに ----- 13

2.2 再生医学の可能性の拡大 ----- 13

2.3 再生医学研究の進展 ----- 13

2.4 再生医療と医療費の関係 ----- 16

2.5 再生医療の拠点形成の意義 ----- 16

2.6 ヒト胚性幹細胞研究に関する生命倫理の問題 ----- 17

2.7 おわりに ----- 18

3. 特集：科学コミュニケーションの動向 ー科学ジャーナルを取り巻く状況ー

3.1 はじめに ----- 20

3.2 科学ジャーナルとそれを取り巻く状況 ----- 21

3.3 科学ジャーナルを巡る議論 ----- 22

3.4 各機関の取り組み ----- 23

3.5 電子化にともなう問題 ----- 26

3.6 おわりにー情報化時代の科学コミュニケーションー ----- 26

4. 特集：わが国の研究成果(論文)に対する国際評価

ー日本発の“一流論文”の増加ー

4.1 はじめに ----- 28

4.2 自然科学・工学全体におけるわが国の論文生産 ----- 28

4.3 わが国の分野別論文生産 ----- 29

4.4 被引用回数による分野別の機関ランキング ----- 30

4.5 ナノテクノロジーに関する論文動向 ----- 30

4.6 おわりに ----- 31

科学技術動向研究センターのご紹介 ----- 32

今月号の概要

1. 科学技術トピックス

1.1 ライフサイエンス分野

(1) 再生医療の海外基礎研究開発状況

ー特に幹細胞生物学研究を中心にー

近年、従来行われてきた臓器移植や人工臓器を用いる治療法にとって代わる方法として、再生医療の進歩に大きな期待が寄せられている。

米国では、来年度、胚性幹細胞(ES細胞)研究に1億ドル(約120億円)、体性幹細胞研究に2億ドル(約240億円)という巨額の連邦予算を投入することが決定しており、研究が加速することが予想される。わが国でも、この分野での国際競争力を得るためにも、国家的な取り組みとして研究開発の体制整備等が強く望まれる。

(2) セレラ社と国際チームが予測したヒトの新規遺伝子は重なりが少ない

昨年国際公的機関チームとセレラ社によってヒトゲノムの概要配列決定が発表され、ヒトゲノムにコードされた遺伝子の数が従来信じられていたよりもはるかに少なく、およそ3万個程度と推定された。しかし、実はこの推定値もあまり当てにはならないかもしれないことを示唆する報告がCell誌に掲載された。

遺伝子発見問題解決には一層の研究が必要であり、実用的な予測を行うためには遺伝子の発現解析のような実験データと組み合わせることが早道であると考えられる。

1.2 情報通信分野

(1) インテル高速プロセッサ用の新実装技術を発表

インテルは10月8日(日本時間10月9日)、現在最速のプロセッサの10倍速く、また10億個以上のトランジスタ搭載を可能とする新しいソパッケージ技術を開発したと発表した。半導体分野ではプロセス技術であるリソグラフィー技術に続いて、実装技術においても米国の研究の進展が明らかになりつつある。

1.3 環境分野

(1) COP7会合で最終合意が成立

国連気候変動枠組条約(UNFCCC)第7回締約国会議(COP7)が10月29日～11月9日まで、モロッコのマラケッシュで開催され、クリーン開発メカニズム(CDM)における森林と土地利用、途上国への資金の拠出、排出権取引などの柔軟性措置、削減目標の未達成時の遵守規定などに関する京都議定書の運用規則について、最終合意に達した。

(2) マツノザイセンチュウに関する国際ワークショップ

わが国において非常に身近な環境問題の一つであるマツ材線虫病(俗称”まつくいむし”または”マツ枯れ”)に関する国際ワークショップがポルトガルのエボラ大学で開催された。参加者数が50人規模でありながらポルトガルの農林水産大臣と文部科学大臣などの参加もあり、ヨーロッパの森林保護に携わる関係者の意気込みの高さを窺わせた。

1.4 ナノテク・材料分野

(1) 自己組織的手法による銀ナノワイヤーの形成

韓国のPohang科学技術大学のB. H. Hong他は、聖杯型(飲口が広がったカップ様)をした分子の自己組織化により、ナノレベルの孔を持つテンプレート(鋳型)を作り、それを用いて銀ナノワイヤーを作製したと発表した(Science, 2001年10月12日)。

1.5 エネルギー分野

(1) 中国における省エネルギー技術普及の必要性

10月8日～11日、中国西安市において、中国動力工学会、日本機械学会および米国機械学会の共催による国際動力エネルギー会議(ICOPE-2001)が開催された。

冒頭に西安交通大学 Yansun Lu 教授が「Chinese Economics Sustainable Development Strategy and Energy Industry」と題する基調講演を行い、中国におけるエネルギー消費の現状および省エネルギー技術普及の必要性を訴えた。

(2) 発電システムの予防保全を支援する情報システムで原子力発電の稼働率向上

8月14～16日、米国電力技術研究所(EPRI)の主催により、発電システムの保守技術に関する国際会議が米国ヒューストンで開催された。

EPRIのDavid Worledge氏は、原子力発電の運転成績向上に大きく貢献したプラント機器の状態監視、オンライン検査、点検保守計画を一体化した情報システムについて発表した。

1.6 製造技術分野

(1) 高集積化されたマイクロ化学システム

基盤上形成したマイクロメートルサイズの溝の中において、化学分析や化学反応を行う「マイクロ化学システム」の進展に関する発表が東京大学大学院 北森武彦教授からあった。

これは、試料・廃棄物量の低減、高速処理などの利点をもたらし、さらに化学プラントさえも小型化できる可能性があるとして期待される。

1.7 社会基盤分野

(1) 地震による絶対重力変化を初めて検出

1998年に発生した岩手山南西麓を震源とする地震において絶対重力変化が初めて観測された。

今回の観測値は、震源断層モデルにおける予測値と一致している。絶対重力変化が震源断層の活動をよく反映しているのであれば、従来の地震波データと地殻変動データの解析に、そのデータを加え、より正確に震源断層モデルを決定することが可能になる。地震研究、重力研究に新たな展開をもたらす可能性が出てきた。

1.8 フロンティア分野

(1) 宇宙太陽発電の将来展望

宇宙太陽発電では、宇宙空間で巨大な太陽電池パネルで発電し、マイクロ波により地球や宇宙都市へ送電する。約20年前に発表されたが、近年、エネルギー資源と環境問題の解決という視点から、実用化のための研究が進められる機運にある。わが国では、実用化の目標を2040年に設定して検討が開始された。今後、エネルギーコスト、マイクロ波が生体や既存通信網へ及ぼす影響の評価等について、幅広い基礎データの積み上げが必要である。

2. 特集 再生医学の最近の動向

— 幹細胞を用いた再生医学について —

第2期科学技術基本計画において重点分野の一つとしてライフサイエンス分野があげられており、この中で、国家的・社会的課題に対応するため重点的・戦略的に取り組む課題の一つとして再生医療が取り上げられている。また、再生医学・再生医療を巡る生命倫理に関する議論も総合科学技術会議等で活発に行われているところである。

このような状況を踏まえ、再生医学・再生医療の最近の動向、特に幹細胞を用いた再生医学について、平成13年9月12日に行われた京都大学大学院医学研究科西川伸一教授による科学技術

政策研究所所内講演会の内容に我々の調査を加えて、本特集をまとめた。

本稿では、はじめに、再生医学の面から、①体性幹細胞及び胚性幹細胞を用いた研究の進展について紹介する。次に、再生医療の面から、②再生医療と医療費との関係について、③再生医療の拠点形成の意義について紹介する。そして、④ヒト胚性幹細胞研究に関する生命倫理の問題について述べ、最後に、⑤特に再生医学研究において問題となる「科学界の知識」と「社会が共有できる知識」との関係について述べる。

3. 特集 科学コミュニケーションの動向

ー科学ジャーナルを取り巻く状況ー

科学ジャーナルは研究者間の最も重要なコミュニケーション手段の一つであり、研究を進展させる上で極めて重要なものである。購読価格の高騰、刊行する学会や出版社の状況の変化、電子化・オンライン化の急速な進展など、ジャーナルを取り巻く状況は急激に変化している。その他、ジャーナルを補完するプレプリントサーバーのような新しい取り組みもある。

このような状況の下、ジャーナルシステムの改革を進める動きが日米欧にあるが、その動きは刊行する学会や出版社に止まらず、機関購読者である図書館や中間エージェントにまで及んでいる。電子化・オンライン化の持つ大きなポテンシャルを用いて、新しい魅力あるジャーナルシステムを構築するために、総合的な協同や適切な分担による取り組みが必要である。

科学コミュニケーションを促進するためには、科学ジャーナルの電子化の推進、客観的で公平かつ速やかな peer review(査読)の維持、継続的な科学情報提供の重要性などを提起した。

4. 特集 わが国の研究成果(論文)に対する国際評価

ー日本発の“一流論文”の増加ー

わが国から発表された論文が国際的にどの程度の評価を受けているかについて、「一流ジャーナルにおける論文シェア」や「被引用回数(分野・領域別)」等を使って分析した結果、下記のような点が明らかとなった。

- ・ 一流ジャーナル (Science, Nature) の掲載論文に占めるわが国のシェアは年々、増加傾向にあり、わが国において国際級の研究成果が増えている。
- ・ わが国は過去 10 年間、物理学・材料科学分野および化学分野に力を入れてきており、またこれらの分野には、わが国に世界をリードする機関が存在する。
- ・ ナノテクノロジーでは、過去 10 年間、わが国は国際的に注目される論文を輩出してきた。

1. 科学技術トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿(11月号は10月6日より11月2日まで)を「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

1.1 ライフサイエンス分野

(1)再生医療の海外基礎研究開発状況

ー特に幹細胞生物学研究を中心にー

近年、従来行われてきた臓器移植や人工臓器を用いる治療法にとって代わる方法として、再生医療の進歩に大きな期待が寄せられている。

再生医療の基礎研究は、骨髄移植のような細胞の補充による細胞・組織の再生を目指した研究と、狭義の組織工学(Tissue engineering)という概念で捉えられる一連の研究という2つの方向性で国際的に発展してきた。狭義の組織工学とは、細胞が生体内で生着する際に必要な足場(scaffolds)と細胞の両方を用いて修復しようとする研究である。現在では、これら2つの流れの明確な境界はなくなり、細胞と生体吸収性 scaffolds の両者を有効に組み合わせた形での再生医療が目指されている。

幹細胞の基礎研究は、主に ES 細胞(胚性幹細胞)と体性幹細胞に関して進行している。ES 細胞は、胚を構成する全ての種類の細胞に分化する能力を有し、無限に近い増殖能力を有する。現在は主に ES 細胞から目的の特定細胞へ効率的に分化誘導させる方法の研究開発に大きな焦点が当てられている。体性幹細胞は、ES 細胞とは異なり、ある一定の細胞系列への分化が運命付けられており、その中で多分化能と自己増殖能を示す。現在、神経幹細胞など最低 8 種類の体性幹細胞が成人の組織に存在すると考えられている。尚、体性幹細胞については、予想以上の分化能力の可塑性(本来の細胞系列以外の細胞へ分化する能力)に富んでいることが明らかになってきている。例えば、本来、骨や軟骨にのみ分化すると考えられていた骨髄間質幹細胞が、心筋や神経系の細胞にも分化することが示されてきている。このことは、自己細胞を用いた再生医学を可能にするものとして期待されている。

幹細胞の効率的分離法としては、FACS

(fluorescence-activated cell sorter)を用いた方法がある。FACS を利用する際の指標として、細胞表面マーカー、蛍光物質 GFP(green fluorescent protein)及び SP(side population)細胞^①などの研究開発が進行している。分離した幹細胞の多くは、血清存在下で増殖することが知られているが、再生医療への応用面からは合成無血清培地での増殖法の開発が望まれる。神経幹細胞では、無血清培地により効率的に増殖する方法が既に確立されている。

米国では、来年度、ES 細胞研究に 1 億ドル、体性幹細胞研究に 2 億ドルという巨額の連邦予算を投入することが決定しており、研究スピードの加速化が予想される。我が国でも、この分野での国際競争力を得るためにも、国家的な取り組みとして研究開発の体制整備等が強く望まれる。

(慶應義塾大学医学部 岡野 栄之氏より)

用語説明

①SP(side population)細胞

DNAIに結合するある種の色素を排出する性質を持つ細胞。造血幹細胞を高頻度で含んでいる。

(2)セセラ社と国際チームが予測したヒトの新規遺伝子は重なりが少ない

昨年国際公的機関チームとセセラ社によってヒトゲノムの概要配列決定が大々的に発表されたことは記憶に新しいが、そこでの大きな驚きの一つは、ヒトゲノムにコードされた遺伝子の数が従来信じられていたよりもはるかに少なく、およそ 3 万個程度と推定されたことであつた。しかし、たとえゲノムの塩基配列が手に入ったとしても、そのどこに遺伝子を書き込まれているのかを解読することは、バイオインフォマティクスにおける遺伝子発見問題として研究途上であるため、実はこの推定値もあまり当てにはならないかもしれない。そのことを示唆する短い手紙が Cell 誌

(Hogenesch et al., 106,413-415, 2001)に掲載されたので紹介する。

それによれば、Ensembl というデータベースに収められた国際チームのデータとセセラ社の遺伝子セットを、既知遺伝子を整理したデータベース RefSeq と比較すると、どちらのデータもそれらの既知遺伝子のほとんどを包含していた。しかしながら、新しく予測された遺伝子については、遺伝子の重なりを判断する基準を非常にゆるくとした場合でも、その8割程度はどちらか一方からしか報告されていなかった。さらに商用の高密度 DNA アレイを用いて、8,000 の既知遺伝子と 5,000 の新規遺伝子の発現をいろいろな条件で調べてみると、既知・未知遺伝子を問わず、8割程度が実際に発現されていることがわかった。

このことは、国際チーム、セセラ社双方の予測が不十分であることを示唆している。もっとも、現在のヒトゲノム配列はあくまで概要版であり、将来両者の不一致はある程度改善されるかもしれない。

いずれにせよ、遺伝子発見問題解決には一層の研究が必要であり、実用的な予測を行うためには上述の発現解析のような実験データと組み合わせることが早道であると考えられる。

(東京大学医科学研究所 高木 利久氏より)

1.2 情報通信分野

(1) インテル高速プロセッサ用の新実装技術を発表

インテルは 10 月 8 日(日本時間 10 月 9 日)、現在最速のプロセッサの 10 倍速く、また 10 億個以上のトランジスタ搭載を可能とする新しいパッケージ(実装)技術^①を開発したと発表した。

この技術は「バンプレス・ビルドアップ・レイヤー」BBUL 技術と名付けられている。詳細は翌 10 月 9 日(日本時間 10 月 10 日)モントリオールで開催された Advanced Metalization Conference 2001 で発表された。

インテルは高速プロセッサを開発するにあたって、第一段階に高速、微細トランジスタの開発を(これは 6 月に、3 原子層よりも薄いゲート絶縁膜を持ち、1.5THz で動作するトランジスタで達成)、第二段階にそれを実現するリソグラフィー技術の開発(科学技術動向 5 月号特集「次世代 LSI 用リソグラフィー技術の研究開発動向」で既報)を、そして第三段階には先の二段階の技術で可能となる 10 億個ものトランジスタを、速度を犠牲にすること無しにパッケージする技術が重要であると考え、開発を行っていた。

デバイス技術、プロセス技術、パッケージ技術の開発バランスが取れて始めて高速プロセッサが実現されるというインテルの開発思想が窺える。

構造としては、チップとパッケージの接続に現在用いられているバンプ(はんだ等で作った突起)を用いるのではなく、パッケージコア(基板)に穴をあけてチップを埋め込み、埋め込まれたチップの電極面上に絶縁層を形成して配線を行い、さらにその上に電極メタルを載せてボードとの接続用電極を形成するというものである。

LSI の電極面の上に絶縁層を形成して多層配線を行ったものと考えると理解し易い。その絶縁層部分が従来概念のパッケージである。

プロセス技術的には、現在高密度プリント基板で使用されているビルドアップ技術を応用していると見られる。

実効上のパッケージ厚さの低減により高周波特性が改善され、また精度の点で制約のあるバンプを用いなくて済むため従来よりも狭ピッチ、多点接続を可能にし、高速、高密度のチップが必要とする信号(データ)と電力の供給を実現できるとしている。

さらに、明星大学情報学部の大塚寛治氏(東京大学先端科学技術研究センター客員研究員兼務)は、

インテルがこの BBUL 技術を前提にした GHz 帯の高速なシステムバスを近く提案してくるだろうと予測している。

近年、新たなシステムバス提案は知的所有権を伴うプロトコルとなっており、その研究の遅れは単なる技術的な遅れだけにはとどまらず情報通信機器産業に非常に大きなインパクトを持つ。

日本が先行しているとされていた半導体分野でのリソグラフィー技術の新技术発表(EUV)に続き、実装技術、システムバスの高速化の分野でも米国が開発を強化していることが明らかになりつつあり、日本でも対応が急がれる。

用語説明

①パッケージ(実装)技術

LSI チップを基板に搭載するための技術全般を指す。チップとリードフレーム(またはパッケージ用基板)との接続、LSI を保護する封止、基板との接続・組立、冷却などの多くの技術分野を含む。

パッケージの形状としては、LSI を保護する樹脂の両脇から金属板を型抜きしたリードフレーム(ピン)がでている DIP(Dual In-line Package)が LSI の一般的なイメージだが、現在では形状やピンの配置から QFP(四方にピンが出ている薄型パッケージ)、PGA(パッケージの下面に格子状にピンが出ているもの)、CSP(LSI とほぼ同じ大きさのパッケージ)など多くの種類がある。また、基板上に直接 LSI を搭載し、樹脂で封止するベアチップ実装や一つのパッケージに複数の LSI を搭載するマルチチップパッケージも実用化されている。

1.3 環境分野

(1)COP7会合で最終合意が成立

国連気候変動枠組条約(UNFCCC)第7回締約国会議(COP7)が10月29日から11月9日まで、モロッコのマラケッシュで開催された。事務レベルの協議においては、結論書草案の作成に向けて①モニタリングに関連する議定書5条(方法上の問題)、7条(情報の送付)、8条(情報の検討)の交渉グループ、②遵守に関する交渉グループ、③京都メカニズムに関する交渉グループの3グループの他に、クリーン開発メカニズム(CDM)、非付属書I締約国の国別報告書に関する専門家諮問、共同実施(JI)、支払い遅延、発展途上国(LDCs)に関するグループなどの非公式グループが作られた。

11月6日の事務協議最終日に、COP 決定書草案が採択できたのは遵守に関する交渉グループであった。議定書5、7、8条の交渉グループからは意見の分かれた問題が7日以降の閣僚級会合に提出されることになり、京都メカニズムに関する交渉グループからは解決できなかった二つの問題が COP7 のエルヤズギ Elyazghi 議長(モロッコの領域内計画、都市管理、住宅環境大臣)に報告された。

11月7日からは閣僚会議が始まると共に、京都メカニズム、議定書5、7、8条、LDCsについての交渉が継続して行われ、10日未明に最終合意に達した。

この COP 7 会合での最終合意について、茨城大学 三村信男教授が次のように報告した。

10月末からモロッコで開催されていたCOP7で、最終合意が成立したことが報道された。参加各国の閣僚会合で、京都議定書の運用ルールを定めた法的文書が採択されたものである。1997年の温暖化防止京都会議(COP3)で京都議定書が採択されて以降、その運用ルール作りは難航を極め、1999年のハーグ会合を中断、2000年のボン再開会合で大枠合意し、今回、最終合意に至った。合意の経過と内容が詳しく伝えられていないので、詳細にわたる評価はできないが、大局的な視点から今回の合意の意義と今後の課題を考えてみたい。

最大の意義は、京都議定書の批准・発効に向けて道が整ったことである。今回の会議で採択されたのは、課題となっていた途上国支援、温暖化防止の柔軟性措置である京都メカニズム、吸収源の取り扱い、遵守

の規則などに関する法的文書である。この合意によってルール上の不明点がなくなり、締約国が京都議定書の批准をすすめることが可能になった。今後、55 カ国以上が批准し、批准した附属書 I 国の温室効果ガス排出量の合計が 1990 年の附属書 I 国全体の総排出量の 55% を越えれば、議定書は発効する。

京都議定書の発効は、世界が温暖化防止のための法的拘束力のある仕組みを持つことを意味する。1992年に締結された温暖化防止枠組条約でも、2000年までに温室効果ガスの排出量を1990年レベルに安定化するという目標を掲げていた。しかし、それは精神的な目標であったために、実現できなかった。京都議定書が発効してはじめて法的な拘束力と目標のもとで国際的取り組みが行われることになる。そうした意味で、COP7での合意を評価し、京都議定書の早期の批准、発効を期待したい。

しかし、今回の合意は温暖化防止に向けての第一歩にすぎない。国際政治の上では画期的な京都議定書の発効も、これのみで温暖化防止ができるわけではないからである。今世紀中に予想される1.4～5.8℃の気温上昇を抑制するためには、第2期以降さらに本格的な温暖化防止対策の検討・実施が不可欠である。第1期(2008～2010年)の目標達成は、第2期以降の対策に向けた取り組みの重要なマイルストーンと言える。

実効ある温暖化対策の上で、鍵を握るのは米国の動向である。ブッシュ政権の誕生後、米国は京都議定書からの離脱を表明しているが、世界のCO₂の四分の一を排出する米国の取り組みなしに温暖化防止は成功しない。また、途上国の参加も今後の重要な課題である。現在の京都議定書の削減義務は先進国のみに課せられているが、2010年までには、途上国からの排出量が先進国を上回ると予想されている。中国やインドをはじめ、経済成長を強く望む途上国を取り込んでどう温暖化防止の国際的な枠組を強化するかは、今後の大きな課題である。

最後に、わが国では、1990年に比べて、すでにCO₂排出量が7%増加している。京都議定書の目標である1990年比6%削減を達成しようとすれば、合計13%程度の削減を実現せねばならない。近年の増加が、家庭や交通部門での大幅増加によっていること

からしても、温室効果ガスの削減はものの生産や生活のスタイルの変更を迫る大変な事業である。わが国でも京都議定書の早期批准を求めたいが、そのことは、国内対策に本腰を入れなければならないことを意味している。

(2) マツノザイセンチュウに関する国際ワークショップ

わが国におけるマツ材線虫病(俗称”まつくいむし”または”マツ枯れ”)によるマツ類・マツ林の被害は北海道と青森県を除く 45 もの都府県で発生しており、被害量は平成 12 年度で約 84 万 m³(胸高直径 30cm・樹高 20mの立木換算でおおよそ 140 万本に相当)に達し、17 府県では前年比 20%以上の増加になっている。このような甚大な被害発生は、防風・防潮保安林などとしての国土保全の面ばかりでなく優れた風致景観の形成という面からも非常に身近な環境問題の一つである。

この問題に関する国際ワークショップについて、京都大学 二井一禎助教授が以下のように報告した。

マツノザイセンチュウは中国、韓国、台湾など近隣諸国で流行した後、スカンジナビア諸国でも繁殖確認がなされた。このためヨーロッパ諸国は厳しい防疫体制を引いていたが、1998 年にポルトガルリスボン近郊でこの病気の発生が確認された。このような状況の下で、本年 8 月 20 日から 3 日間の会期でこの問題に関する国際ワークショップがリスボンから 150 キロほど離れたエボラ市にあるエボラ大学で開催された。参加者は約 50 名程度ではあったが、ポルトガルの農林水産大臣と文部科学大臣、エボラ大学長などの参加もあり、ヨーロッパの森林保護に携わる関係者の意気込みの高さを窺わせた。

研究発表では、①European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) の D. McNamara 研究員から、マツノザイセンチュウが原因のマツ枯れについては、病原性決定に至る方法論など研究者間での統一が必要とする発表、②広島県県立林業試験場と広島大学が共同で行った、非病原性のニセマツノザイセンチュウが外国から侵入した病原性マツノザイセンチュウによって置き換わっていく現象の発表、③京都大学が行った、人工酸性雨がマツ枯れ進展に及ぼす影響についてモデルを用いた解説などが特に注目された。

この森林流行病においては、病原体の明確な種同定が問題の解決の前提として絶対に不可欠であるという共通の認識がある。しかし、各国の様々な事情、各国の研究者の置かれた研究環境などが原因で、例えば分子生物学的な手法を駆使できるか否かについては未だに統一的な研究環境の下にない、など問題解決への国際的な意志の一致が遅れているという面は否めない。

我が国における課題は、①応用色の強い分野であるため、基礎研究を中心とする大学では研究への取り組みの遅れが深刻である、②現実には被害の進展は深刻なまでに続いている一方で、研究を維持・推進する体制が弱い、③研究成果が被害現地での対策に活かされない事が多く、産学官の連携が強く求められている、④森林保護研究は、生物間の複雑な相互関係を総合的に判断する必要がある、生態学から生理学・分子生物学に至る広範な研究者の養成が不可欠である、といった研究体制の問題点の克服にあると言える。

1.4 ナノテク・材料分野

(1) 自己組織的手法による銀ナノワイヤーの形成

有機物でできたテンプレート(鋳型)を用い、直径が約 0.4nm、長さ数ミクロンの銀ナノワイヤーを作製したと、韓国の Pohang 科学技術大学の B. H. Hong 他が発表した(Science, 2001 年 10 月 12 日)。

カリックス[4]ハイドロキノン^①を自己組織化させ、ナノレベルの径の筒孔を持ったテンプレートを作製した。Hong 等はこれをナノワイヤー・テンプレートと呼んでいる。このテンプレートに硝酸銀の水溶液を吸収させ、30 秒間紫外線照射し銀イオンを還元することにより、ナノワイヤーを形成させる。テンプレートの断面は、筒孔が規則正しく正方格子を作っており、銀ナノワイヤーはこの筒孔内に成長する。金、パラジウム、プラチナ、水銀イオンにおいて同様のナノワイヤーが形成できる可能性がある。

金属ナノワイヤーは、その物理的性質が興味深いことと、超微細電子回路の形成に利用できる可能性からナノエレクトロニクス材料として興味を持たれている。これまでに報告されている金属ナノワイヤーは高真空中でしか安定に存在できないのとは対照的に、Hong 等の銀ナノワイヤーは空気中や溶液中でも安定である。今回の方法は、非常に容易であること、手法に一般性があり様々な応用が考えられることなどから興味深い。

用語説明

①カリックス[4]ハイドロキノン

2 価のフェノールであるハイドロキノン4つから形成され、カリックス(ギリシャの聖杯 飲口が広がったカップ様)状の形をした分子

1.5 エネルギー分野

(1) 中国における省エネルギー技術普及の必要性

本年 10 月 8 日から 11 日の期間で、中国の西安市において、中国動力工学会、日本機械学会および米国機械学会の共催による、国際動力エネルギー会議(ICOPE-2001)が開催された。

同会議冒頭に、西安交通大学 Yansun Lu 教授により「Chinese Economics Sustainable Development Strategy and Energy Industry」と題する基調講演があった。

以下、同講演の内容に従って、中国におけるエネルギー消費の現状および省エネルギー技術普及の必要性について報告する。

1998 年の全世界の一次エネルギー消費量は、121 億トン SCE(SCE:標準石炭換算量)であり、中国はその 10.4%に相当する 12 億 6000 万トン SCE を消費している。米国に次ぐ世界第二位のエネルギー消費国でありながら、国民 1 人あたりのエネルギー消費量は米国の 1/10、日本の 1/5 であり、全世界の平均値と比べても 1/2 にすぎない。しかも、一次エネルギー源として石炭の占める比率が高く(2000 年で 67%)、今後経済成長に伴う CO₂ 排出量の増加が懸念される。過去 20 年間における中国の GDP の年平均増加率は 9.7%であり、今後も年率 7~8%の高い GDP の伸びが予想されている。仮にエネルギー消費量の年平均増加率を 2.8%に抑えたとしても、2040 年にはエネルギー消費量が現在の 3 倍にあたる 35 億トン SCE に達し、この時点で国民 1 人あたりのエネルギー消費量がようやく世界の平均値に近づくことになる。

現在、中国の単位生産量あたりのエネルギー消費量は先進国の平均値を 4 割近く上回っており、省エネルギーの余地は極めて大きい。例えば、2000 年における石炭火力での石炭消費量は平均で 394gSCE/kWh であり、これを新鋭石炭火力の平均値である 330g/kWh にまで落とすことができれば、年間 7000 万トン SCE の節約となる。また中国では現在、鉄 1 トンの生産に 976kgSCE の石炭を消費しているが、これを最新鋭の製鉄所での石炭消費量である 659kgSCE にまで落とせば、年間 3800 万トン SCE の節約となり、この石炭火力と製鉄所の効率改善だけで、中国全体で実に 10%もの省エネルギーが可能となる。

世界人口の 20%を占め、今後も高い経済成長が見

込まれる中国のエネルギー利用形態の動向は 21 世紀の世界全体の CO₂ 排出量を大きく左右する。今後、わが国が中国における高効率石炭利用技術をはじめとする省エネルギー技術の普及に積極的に関わることが、今日人類が直面している①エネルギーの安定供給、②環境保全、③経済成長という 3E 問題の解決に大きく寄与するものと考えられる。この意味でも、クリーン開発メカニズム(CDM)の枠組を規定した京都議定書の行方が注目される。

(2) 発電システムの予防保全を支援する情報システムで原子力発電の稼働率向上

米国電力技術研究所(EPRI)の主催で、2001 年 8 月 14~16 日の間、発電システムの保守技術に関する国際会議が米国ヒューストンで開催された。この会議に参加した京都大学 吉川榮和教授は、注目した研究・技術動向として以下の情報を挙げて報告した。

EPRI の David Worledge 氏は、オンラインで発電機器の状態を常時監視して、機器別の取得データをデータベース化した。さらに、ネットワークを利用して発電システムの保全状態をコンピュータ分析した。ここでの知見を基に、定検時期の予測や検査項目、機器の試験計画の立案を行う情報システムを考案し発表した。

EPRIによれば、この情報システムは、元来、米国原子力発電所の設備利用率向上のために開発したものであり、最近の米国での90%を越える良好な設備利用率の達成に寄与したとのことである。また、既設プラントの定検期間が15日間に短縮されたというデータも、この会議で配布された最近の米国の発電技術に関する技術誌に掲載されていた。

米国での原子力発電においては最近とくに保守点検技術の改善が進み、定検期間短縮と運転期間の長期化による設備利用率の向上、計画外炉停止率の低減化、発電出力の上昇、など、既設プラントの運転性能の向上に目覚ましいものがある。その結果、電力市場が自由化された後にカリフォルニア州で発生した電力危機以降、米国では原子力発電の経済性や信頼性の評価が高まっている。

一方、熱効率の高さや経済性で注目されたコンバインドガスタービンを実際の運用において故障が多く稼働率が悪いことが、同会議での米国の参加者から発表された。このような状況のため、原子力発電で培われた保守点検技術を火力プラントへ適用することに関心

が高まっている。

10 年前には米国の原子力発電の運転成績は我が国に比して悪かったが、この 10 年で立場が逆転した感がある。その裏にはプラント機器の状態監視、オンライン検査、点検保守計画を一体化した情報システムの開発があったと言える。

1.6 製造技術分野

(1) 高集積化されたマイクロ化学システム

近年、micro-Total Analysis System (μ -TAS) や Lab-on-a-chip と呼ばれる研究が関心を集めてきている。これは、数センチメートル角のガラスやシリコンの基板に加工したマイクロメートルサイズの溝(マイクロチャネル)の中で化学分析や反応を行うもので、試料・廃棄物量の低減、高速処理、などの利点をもたらし、更に化学プラントさえも小型化できる可能性がある」と期待されている。

東京大学大学院工学系研究科北森武彦教授らは、一般的な化学操作の集積化を目指して混合、反応、加熱、冷却、抽出、相合流、相分離など化学プロセスの単位操作をチップ上で実現するための検討を行っているが、その成果の一部が 2001 年 9 月 18 日に開催された第 45 回日本学術会議材料研究連合講演会で紹介された。

講演ではまず、互いに不溶な複数溶媒の多層流をチップ上で実現した例として幅、深さがそれぞれ $150\mu\text{m}$ 、 $70\mu\text{m}$ のマイクロチャネルでの水/酢酸エチル/水の多層流が報告された。このようなスケールの空間においては、液体の比重差による重力エネルギーよりも界面張力エネルギーの方が 1000 倍程度大きいので、液/液界面は合流順序に従い形成され、マクロスケールでは実現困難な重液/軽液/重液のような多層流の形成も可能となることである。また、マイクロチャネルの形状を工夫することにより液同士が完全に相分離される例も示された。

次いで、多層流を用いた分離の例として、2 価の鉄イオンをはじめとする種々の金属イオンのキレート抽出操作の集積化、さらに、複合操作である 2 価のコバルトイオンとニトロソナフトールの錯形成反応、抽出および共存金属除去のための洗浄操作を一枚のチップ中で実現した内容が紹介された。

最後に、処理速度(量)の向上に関するチップ化の利点について話が合った。例えば、生産量を増やす場合、反応容器などのスケールアップおよびその為の化学工学的な検討が必要となるが、1 枚のチップで反応に最適な条件を決定した後にそのマイクロチャネルパターン数を必要なだけ増やすことにより簡単に生産量を制御できる。或いは、医療診断のような多検体の効率的処理のような場合、量ではなく数自体を増やし処理速度の向上を図る必要があるが、低試薬、低廃棄物、高密度化可能なチップは非常に有効と考えられる。こ

のような観点から抗原抗体反応を集積化した 4 チャンネルの免疫診断チップの検討を進めているとの事であった。

マイクロ化学システムは化学プロセスの省資源化・廃棄物の極小化という社会的な要請に沿っているばかりでなくマクロスケールでは困難な系が実現できる。今後の研究の進展が期待される。

1.7 社会基盤分野

(1) 地震による絶対重力変化を初めて検出

Geophysical Research Letters 10月号に田中愛彦氏他は、地震による絶対重力変化が初めて検出されたと報告した。これについて、国土地理院 熊木洋太氏より以下の投稿があった。

1998年9月3日に岩手山南西麓を震源とし、地表地震断層が出現したマグニチュード6.1の地震が発生したが、この地震の前日と7日後に震源距離3kmの地点で行われた絶対重力観測で、-6マイクロガルの重力変化が認められた。通常の観測誤差は1マイクロガル程度であるため、この重力変化は有意である。

地震は地下の岩盤がある面(断層面)が断裂して、食い違うことによって生じるので、そのために地下の密度分布に変化が生じれば、地上の点にとって重力が変化するはずである。今回の地震については、地表で観測された地殻変動量の分布から震源断層モデル(地下で生じた断層面の位置・形態・大きさと食いつきの向き・量)が推定されており、-6マイクロガルという重力変化の値は震源断層モデルから期待される値とよく一致する。したがって、この重力変化はまさに地震起源のものと判断できる。これは初めてのことである。

重力変化が震源断層の活動をよく反映しているのであれば、そのデータは震源断層モデルの決定に貢献できる。震源断層モデルの決定は従来、地震波データや地殻変動データの解析によって行われているが、それぞれデータの質・量の問題や解析の不確定性の問題を抱えている。

今後はこれらの二つに、絶対重力観測という第三の手法を加えてより正確に震源断層モデルを決定できる可能性が高まったことになり、地震研究及び重力研究に新たな展開がもたらされる可能性が出てきたと言える。

1.8 フロンティア分野

(1) 宇宙太陽発電の将来展望

エネルギー・資源 2001年9月5日において、京都大学 松本紘氏が宇宙耐用発電に関する今後の展望を発表している。これについて東京理科大学 谷 辰夫氏より以下の報告があった。

宇宙太陽発電所は宇宙空間で巨大な太陽電池パネルを広げ、太陽光発電によって得られる直流電力をマイクロ波に変換して、送電アンテナから地球や宇宙都市の受電所に設置されるレクテナと呼ばれる受電アンテナへ伝送し、再び直流電力に変換する発電所である。約20年前に発表されたこの計画に対し賛否両論の意見があったが、その後世界各国で地道な調査研究、基礎研究が続けられてきた。

ここにきて、エネルギー資源と環境問題の解決法の一つとして、また地球閉鎖系から宇宙開放系への転換の足がかりとして実用化のための研究が進められる機運にある。わが国では、実用化の目標を2040年に設定した検討が開始された。

宇宙太陽発電所は、半永久的なエネルギー源、クリーン、地表の天候条件に左右されない、広範な技術の波及効果が期待できるなどの特徴を有する。ただ、エネルギーコスト、マイクロ波が生体へ及ぼす問題の研究や、既存通信網へマイクロ波送電ビームが及ぼす影響の評価など解決課題が数多くあり、実用化を急ぐことなく幅広い基礎データの積み上げが必要である。

2. 特集：再生医学の最近の動向

－幹細胞を用いた再生医学について－

ライフサイエンス・医療ユニット 蛭原 弘子、茂木 伸一

2.1 はじめに

第2期科学技術基本計画(平成13年3月閣議決定)において重点分野の一つとしてライフサイエンス分野があげられており、この中で、国家的・社会的課題に対応するため重点的・戦略的に取り組む課題の一つとして再生医療が取り上げられている。また、再生医学・再生医療を巡る生命倫理に関する議論も総合科学技術会議等各種審議会等で活発に行われているところである。このような状況を踏まえ、再生医学・再生医療の最近の動向、特に幹細胞を用いた再生医学について、平成13年9月12日に行われた京都大学大学院医学研究科西川伸一教授による科学技術政策研究所所内講演会の内容に我々の調査を加えて、本特集をまとめた。なお、本稿では、「再生医学」を、研究と治療(「再生医療」)の両方を含むものと位置付けている。

2.2 再生医学の可能性の拡大

再生医療については、これまで皮膚移植、骨髄移植等のほかパーキンソン病患者の脳へのドーパミン産生細胞の移植等が行われてきた。しかし、それぞれの移植組織は極端に不足している。

それらを解決する方策の一つとして、幹細胞の利用があげられる。幹細胞とは、自己複製により、自身と同じ能力を維持することが可能で、また複数種類の前駆細胞並びに分化細胞に分化することも可能な能力を持つ細胞のことである。このうち、一定の組織・器官に分化する能力を持つとされる体性幹細胞と、あらゆる組織・器官に分化する能力を持つ胚性幹細胞は、将来的には移植用の細胞、組織、臓器の作成を通じて医療に貢献することが期待されている。さらに、クローン技術と組み合わせ、個人別の拒絶反応のない臓器を作る可能性も示唆されている。

なお、二種類の幹細胞のうち、胚性幹細胞については、受精してできた初期胚を滅失することにより初めて樹立されるものであることから、これを用いた研究・医療については、生命倫理の面から特に慎重な議論

が行われている。

本稿では、図表1に示したとおり、再生医学の面から、①体性幹細胞及び胚性幹細胞を用いた研究の進展について(第3章)紹介する。次に、再生医療の面から、②再生医療と医療費との関係について(第4章)、③再生医療の拠点形成の意義について(第5章)紹介する。次に、④ヒト胚性幹細胞研究に関する生命倫理の問題について(第6章)述べ、最後に第7章で、⑤特に再生医学研究において問題となる「科学界の知識」と「社会が共有できる知識」との関係について述べる。

図表1 本特集の構成

本特集で取り上げた内容	
①	体性幹細胞及び胚性幹細胞を用いた再生医学研究の進展(第3章)
②	再生医療と医療費との関係(第4章)
③	再生医療の拠点形成の意義(第5章)
④	ヒト胚性幹細胞研究に関する生命倫理の問題(第6章)
⑤	科学界の知識と社会が共有できる知識との関係(第7章)

2.3 再生医学研究の進展

ポストゲノム時代を迎えた現在においても、生きた細胞を作ることはできない。少なくとも、生きた細胞が必要な治療には、生きた細胞を使わなければならない。現在でも輸血や骨髄移植は、それに代わる治療法がない。

現在、細胞欠損、組織損傷による障害に対する再生医療として細胞移植の可能性は拡大する方向にあるが、これらに用いる細胞は絶対的に足りない。試験管の中で目的の細胞が調整できれば、細胞の不足を補うことができる。

こうした中、細胞治療の広がりを約束する新しい知見や技術が誕生している。具体的には次のような研究が進められている。

2.3.1 体性幹細胞に関する最近の研究

(1)パーキンソン病治療に向けた研究

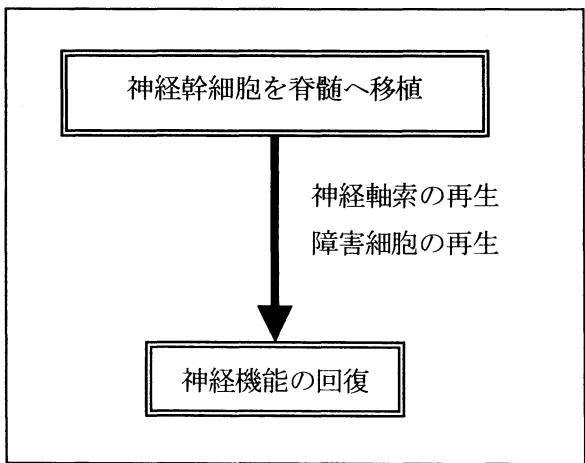
パーキンソン病は、脳の黒質の細胞が死滅していくことで現れる病気であるが、こうした患者に対して胎児の脳細胞を投与して失われた細胞を補う治療が試みられている。しかしながら、ひとりの患者に対して数個体の胎児が必要であること、胎児の脳細胞の中から特定の細胞だけを抽出して投与することは技術的問題から困難であることから、現状においては、一般的な治療法として定着していない。

こうした中、多くの大学や企業等で、モデルマウス系を用い、パーキンソン病を治す神経細胞になる細胞に特異的に存在するタンパク質(マーカー)の探索研究が進んでいる。今後、マーカーを利用して治療に必要な細胞だけを大量に取り、それを注射して治すという医療に結びつくものと期待されている。

(2)損傷した神経機能の回復に向けた研究

慶應義塾大学医学部の岡野栄之教授のグループでは、脊髄(頸髄)損傷モデルラットを作成し(前肢の動きが低下する)、脊髄損傷部分に神経幹細胞を移植したところ、神経細胞等が分化し、神経ネットワークが再構築され、前肢を動かす機能が回復することを示した(図表2)。

図表2 体性幹細胞を用いた神経機能回復治療



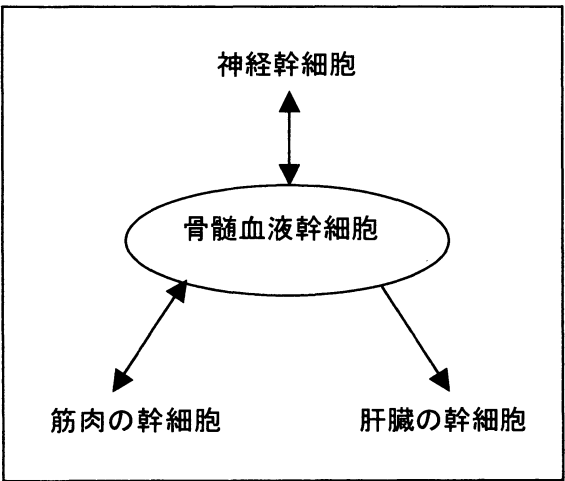
(科学技術動向研究センターで作成)

(3)分化した細胞の可塑性に関する研究

骨髄血液幹細胞が神経・筋肉・肝臓の幹細胞にそれぞれ分化することができることと、神経または筋肉の幹細胞が骨髄血液幹細胞に分化することができるが、これまでに明らかになっている(図表3)。

特定の幹細胞を種類の異なる幹細胞に再プログラムできる可塑性があることを利用して、試験管内で目的の細胞を調整することができるようになれば、疾患の治療において体性幹細胞の利用価値が高まると期待される。

図表3 骨髄血液幹細胞の可塑性



(西川教授の資料をもとに科学技術動向研究センターで作成)

2.3.2 胚性幹細胞に関する最近の研究

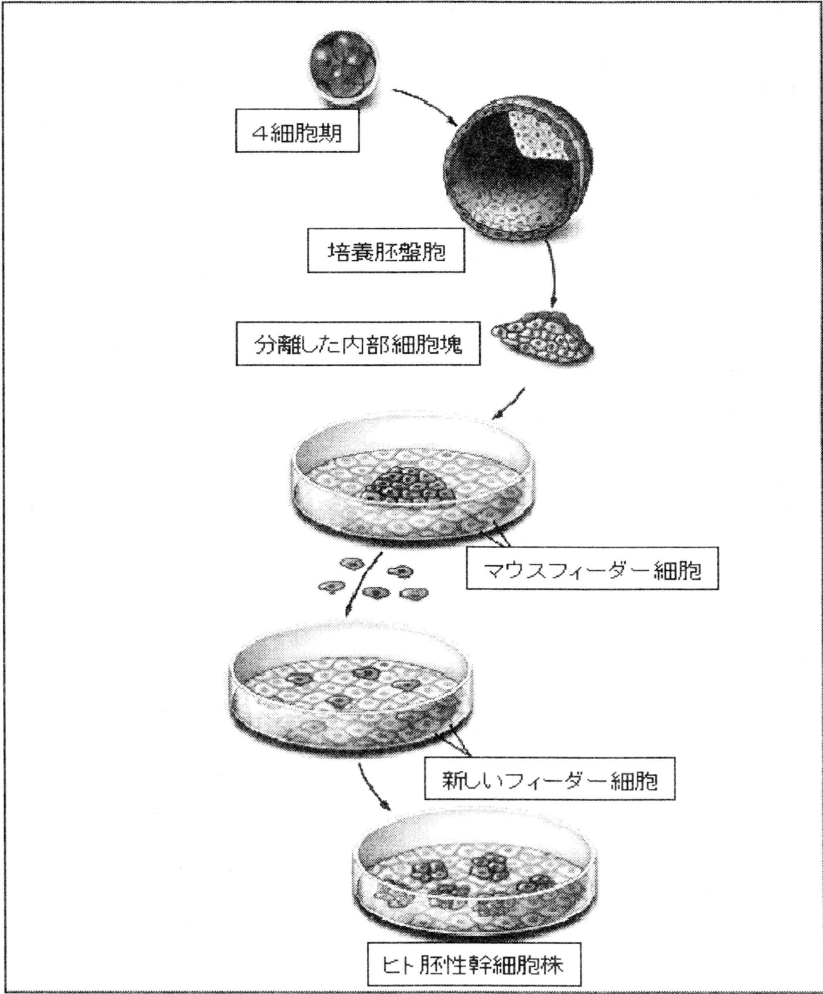
(1)胚性幹細胞の樹立

ヒト胚性幹細胞(ES細胞:Embryonic Stem Cell)の樹立(平成10年、米国ウィスコンシン州立大学及びGeron社)は再生医療に大きなインパクトを与えた(図表4 次頁)。

胚性幹細胞に関する研究は、主にマウスと霊長類(アカゲザル、マーモセット)を用いて進められている。マウスの胚性幹細胞株が樹立され発表されたのは昭和56年、アカゲザルは平成7年、マーモセットは平成10年である。

ヒト胚性幹細胞に関しては、前述したように平成10年に初めて樹立された。これまでに世界で64株のヒト胚性幹細胞が樹立されている(図表5 次頁)。

図表4 ヒト胚性幹細胞の樹立



(NIH report「Stem Cells」 平成 13 年 6 月 の図をもとに科学技術動向研究センターで作成)

図表5 ヒト胚性幹細胞株の数

研究機関名称(国名)	NIH に報告されたヒト胚性幹細胞株数
Goeteborg University(スウェーデン)	19
CyThera, Inc.(米国)	9
Reliance Life Sciences(インド)	7
Monash University(オーストラリア)	6
Karolinska Institute(スウェーデン)	5
Wisconsin Alumni Research Foundation(米国)	5
BresaGen, Inc.(米国)	4
Technion-Israel Institute of Technology(イスラエル)	4
National Center for Biological Sciences(インド)	3
University of California(米国)	2
合 計	64

(西川教授の資料をもとに科学技術動向研究センターで作成)

(3) 胚性幹細胞を用いた研究の課題

胚性幹細胞は試験管内で神経細胞や筋細胞、血液細胞、インスリン分泌細胞等様々な細胞に分化する多分化能を有することが分かっているが、どの細胞に分化するかを制御する機構については現在研究の途上にある。今後の課題としては、胚性幹細胞を目的の機能を有する細胞に分化させる誘導因子の探索、未分化の細胞や様々な分化した細胞の混合物から目的の細胞だけを抽出する技術の開発、分離した細胞を生体外で効率的に増殖させる技術の開発などが挙げられる。

最近のマウス胚性幹細胞に関する研究成果として、ある転写因子(Oct-3/4)が未分化状態の維持に関わっていることが分かっている。また、京都大学再生医学研究所の笹井芳樹教授のグループでは、SDIA(stromal cell-derived inducing activity)法という手法を開発し、試験管内で、マウス胚性幹細胞からパーキン

ソン病を治すドーパミン産生神経細胞へ高頻度に分化誘導し、培養することに成功している。

2.4 再生医療と医療費との関係

一般に、再生医療等の高度医療の普及は医療費増大につながると懸念されているが、再生医療が必ずしも医療費の増大にはつながらないことを示す事例もある。

米国 NIH のロン・マッケイ氏は、マウスを用いて、胚性幹細胞から膵臓細胞を分化誘導して皮膚に注射することによって、糖尿病の治療をすることができるという手法を開発している。(この手法の中で、胚性幹細胞から膵臓細胞に分化誘導していく過程を完全に制御することができないことが問題となっており、さらに研究が必要とされている。)

膵臓でインスリンを生合成することができないⅠ型糖尿病の患者は15歳未満に発症することがほとんどで、一生インスリンを打ち続ける必要がある。もし1回だけの細胞注射でⅠ型糖尿病を完全に治すことができれば、医療費は削減されと考えられる。このことから、再生医学が医療に応用されることは医療費増大に必ずしもつながらないと考えられる。

今後、各方面で、再生医療と医療費との関係について議論が進められるものと予想される。

2.5 再生医療の拠点形成の意義

2.5.1 米国ピッツバーグの例

医療産業の都市として成功した例として米国のピッツバーグがあげられる。米国の肝臓移植のうち半数がピッツバーグで行われている。臓器移植センターを中心に医療、教育等が提供され、臓器移植を含む幅広い分野でサービス産業が発達した都市になっている(図表6)。

図表6 ピッツバーグにおける
生体組織工学産業の発展

	ピッツバーグの 再生医療関連企業群
企業数	26
市場資本価値(推定)※	43億ドル
年間総売上高(推定)	7.74億ドル

※市場資本価値(推定)= Total market capitalization or valuation (estimated)

(Pittsburgh Tissue Engineering Initiative が2000年に行っ

た調査の資料 <http://www.pittsburgh-tissue.net/industry/pdf/industry.pdf> をもとに科学技術動向研究センターで作成)

ピッツバーグが成功した要因には、①鉄鋼産業が衰退したことによって地域経済を何とか再生しなければいけないという地域の強い意思があったことと、②知的インフラがあったことがあげられる(例えば世界的に知られた移植医である Starzl 氏がおられ、日本の移植医もほとんどここへ行って習っている)。

2.5.2 わが国の動向～大阪圏における拠点形成～

大阪・神戸圏には、生理活性物質研究・発生学研究・再生医学研究・移植医療・クローン研究・組織工学研究等のトップクラスの人材を擁する大学や研究機関、企業が存在しており、神戸を中心とする医療産業都市構想が打ち出されている。この事業は、科学技術振興事業団による地域結集型共同研究事業の一つとして平成12年度から5年間の受託事業となっており、再生医療の総合的技術基盤を開発することを目指している。

現在、中核となる先端医療振興財団・先端医療センターや理化学研究所発生・再生科学総合研究センター、独立行政法人産業技術総合研究所ティッシュエンジニアリングセンター、京都大学再生医学研究所、京都大学探索医療センター、大阪大学未来医療センター、その他関係病院等の施設が連携を図りつつある中、今後はこの連携体制を上手く機能させ続けることが課題である。

さらに、図表7に示した施策が、大阪圏におけるライフサイエンスの国際拠点形成にむけて進められている。

図表7 大阪圏におけるライフサイエンスの
国際拠点形成にむけた施策

- (1)大阪北部地域及び神戸地域における集積拠点の形成
研究機能の強化、企業化支援等に必要な施策の集中実施
- (2)両地域をはじめとするライフサイエンス集積拠点の相互連携強化
産学官連携による推進体制の整備、高速大容量の情報ネットワークの構築等
- (3)関係各省等による協議の場を設置し、総合的な支援を集中的に推進

2.6 ヒト胚性幹細胞研究に関する生命倫理の問題

わが国を含む医療先進国では、前述したように、胚性幹細胞の医療への応用に対する期待が高い。しかしながら、生命倫理の側面から、胚性幹細胞に関する研究への取り組みについては、各国で慎重に議論が行われている。

ヒト胚性幹細胞は、受精後、胚盤胞期まで発生が進んだ胚の内部細胞塊から作成されるものであるため、受精してできた初期胚を滅失するという手順を必ず踏まなくてはならない(図表 4, 14 頁)。

したがって、滅失すると決定されたヒトの初期胚は細胞の集合体にすぎないという考え方と、受精の瞬間から、あるいは胚のある一定の段階から人間であり、それを人為的に滅失するものであるという考え方とが存在する(図表 8)。

ここで重要となるポイントは、適切な意思決定システムを構築することである。例えば、研究者は社会に対して十分に情報を開示すること、多様な価値観を持つ者が互いの違いを認めつつ議論しあうプロセスを持つこと、その上で一定のルールを作ること等である。このうち、研究者が社会に情報を開示することについては次章でふれる。

わが国において、ヒト胚性幹細胞の研究に関する生命倫理について初めて検討されたのは、科学技術会議生命倫理委員会の下に設置されたヒト胚研究小委員会においてであった。ここで、ヒト胚性幹細胞を始めとするヒト胚を対象とする研究における生命倫理の側面からの検討が行われ、平成 12 年 3 月に「ヒト胚性幹細胞を中心としたヒト胚研究に関する基本的考え方」を取りまとめた。

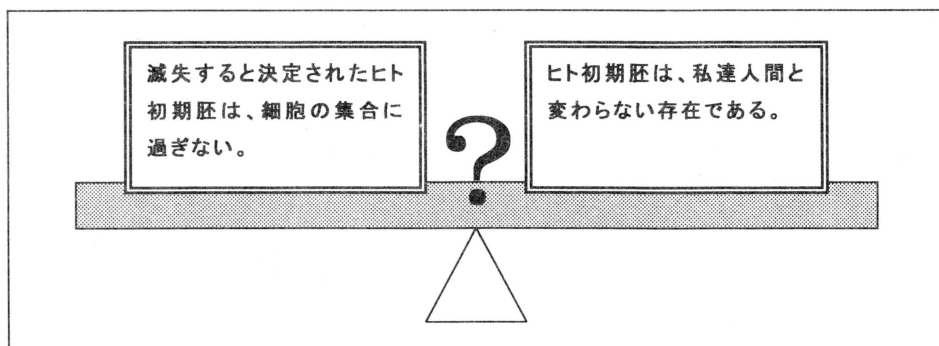
その中でヒト胚性幹細胞の樹立については、人の生命の萌芽としてのヒト胚を用いるという点から慎重に行

うべきであり、ヒト胚性幹細胞についてその恩恵とヒト胚を滅失するとの問題点を考慮し、厳格な枠組の下であれば認めることとした。使用については、ヒト胚性幹細胞が濫用されれば、いたずらにヒト胚の滅失を助長することにつながりかねず、樹立に際しての慎重な配慮を無にする結果となり得る可能性があり、また、あらゆる細胞に分化できる性質をもっていることから、倫理上の問題を惹起する可能性があるため、一定の枠組を整備する必要があることとした。ヒト胚性幹細胞の臨床研究については、医療行為の安全性という観点からの検討が必要とされ、臨床利用に関する基準が定められるまでは、人個体へのヒト胚性幹細胞及びその分化した細胞、組織等の導入による臨床研究は認められない、とした。

この「ヒト胚性幹細胞を中心としたヒト胚研究に関する基本的考え方」を受けて、文部科学省は「ヒト ES 細胞の樹立及び使用に関する指針について」案を作成し、パブリック・コメントを募集した。その後、平成 13 年 4 月に案は総合科学技術会議に諮問され、下部組織である生命倫理専門調査会を中心に検討が重ねられ、平成 13 年 8 月に答申が提出された。

平成 13 年 9 月 25 日に文部科学省より「ヒト ES 細胞の樹立及び使用に関する指針」が施行された。この中で、ヒト胚性幹細胞の取扱いに関しては、人の尊厳を侵すことのないよう、誠実かつ慎重に取扱いを行うものとされた。また、その樹立及び使用は、当分の間、基礎的研究に限るものとされた(第 2 条第 2 項より)。併せて、医療に用いるための医薬品の製造や、医薬品の毒性検査等に用いるためのヒト胚性幹細胞の大量供給など医療関連分野への使用も現時点では行わないこととした。

主要先進国におけるヒト胚性幹細胞を巡る動きについて、次頁の図表 9 にとりまとめた。



図表 8 ヒト胚とはいかなる存在なのか？

(西川教授の資料をもとに科学技術動向研究センターで作成)

図表9 ヒト胚性幹細胞を巡る各国の動き

国名	年月	ヒト胚性幹細胞を巡る動き
日本	平成13年9月	ヒトES細胞の樹立及び使用に関する指針により、ヒト胚性幹細胞の樹立及び使用は、当分の間、基礎的研究に限る。
ドイツ	平成2年	胚保護法により、ヒト胚研究は全て禁止されている。
イギリス	平成13年1月	ヒト受精・胚研究法により、人クローン胚からのヒト胚性幹細胞の樹立が可能となった。
米国	平成13年8月	大統領令により、ヒト胚性幹細胞の使用研究に公的助成を認めるが、新たなヒト胚性幹細胞の作成を認めない。
フランス	—	生命倫理法により、観察以外のヒト胚研究は禁止されている。 余剰胚からのヒト胚性幹細胞樹立を可能とする法改正案を議会に提出予定。

(科学技術動向研究センターで作成)

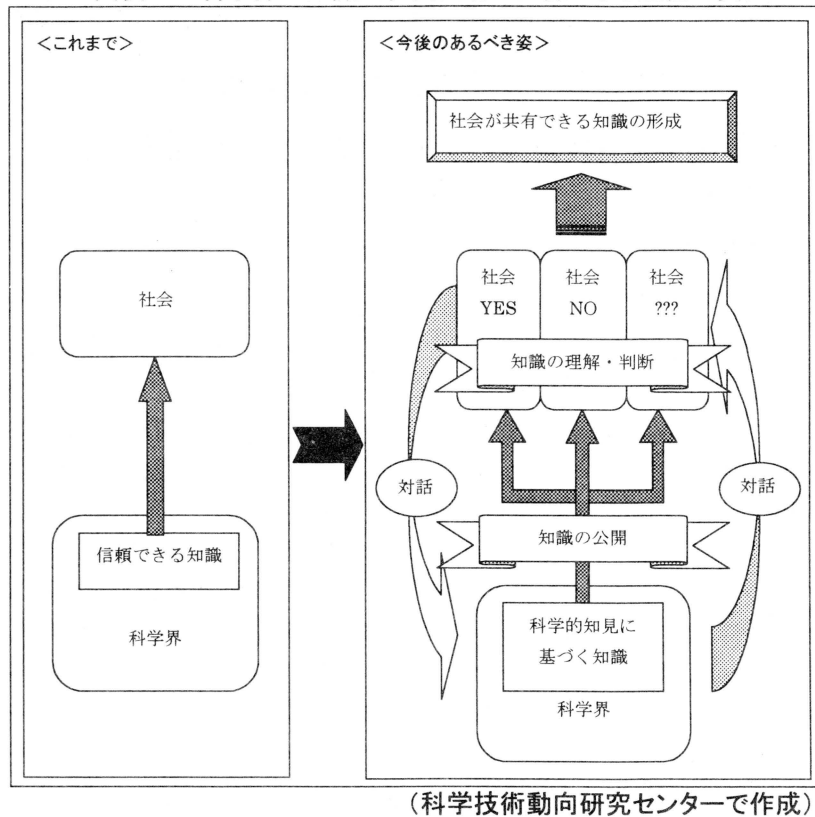
2.7 おわりに

これまで科学者は、科学的知見により得られた知識を生産して社会に提供してきた。その科学的知見に基づく知識の社会への還元は、社会がその知識を「頼りになる知識」すなわち社会的に信用され得る知識として受け入れ、最終的にはその成果が生産物になって社会に貢献するという形で行われてきた。

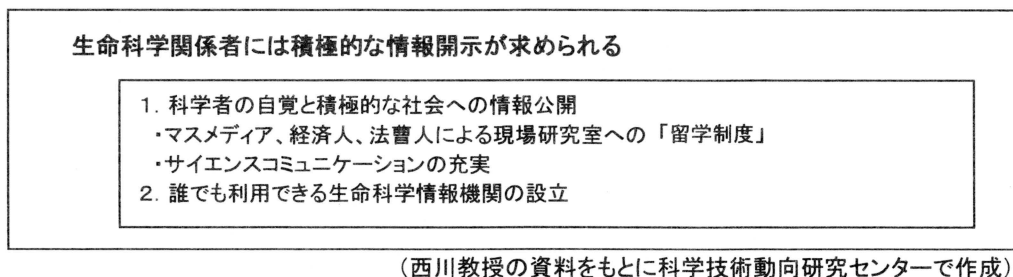
今後は、特に再生医学研究においては、科学的知見に基づく知識を社会に対して透明性高く公開し、それらの知識から賛成、反対、中立等様々な判断をする社会と対話を繰り返すことにより、「社会が共有できる知識」を形成できるかどうか、課題となっている(図表10 次頁)。

また、個々の研究機関とは別に、一般に誰でも利用できるような生命科学の情報機関を設立し、そこから、必要な情報が一般の市民にもわかりやすい形で常に出ていくという形態が望ましい(図表11 次頁)。(例えば理化学研究所発生・再生科学総合研究センターでは、機関内審査委員会(IRB：Institutional Review Board)において、生命倫理のいろいろな問題を議論するだけではなく、研究所外部の立場にたって研究所活動の社会への情報開示のあり方を検討している。)

図表10 科学界の知識が社会共有の知識となる過程の変化



図表11 科学界の知識と社会共有の知識となる過程の変化



【謝辞】

本稿は、科学技術政策研究所において平成13年9月12日に行われた京都大学大学院医学研究科西川伸一教授による講演会「再生医学の最近の動向－再生医学は何をもたらすのか－」をもとに、我々の調査を加えてまとめたものである。

本稿をまとめるにあたって、西川伸一教授には、ご指導をいただくとともに、関連資料を快くご提供いただきました。また、慶應義塾大学医学部岡野栄之教授、京都大学再生医学研究所笹井芳樹教授、河崎洋志助手には、貴重な関連資料を提供していただきました。文末にはありますが、ここに深甚な感謝の意を表します。

3. 特集：科学コミュニケーションの動向

— 科学ジャーナルを取り巻く状況 —

材料・製造技術ユニット 名嘉 節、情報通信ユニット 清貞 智会
客員研究官 山田 肇

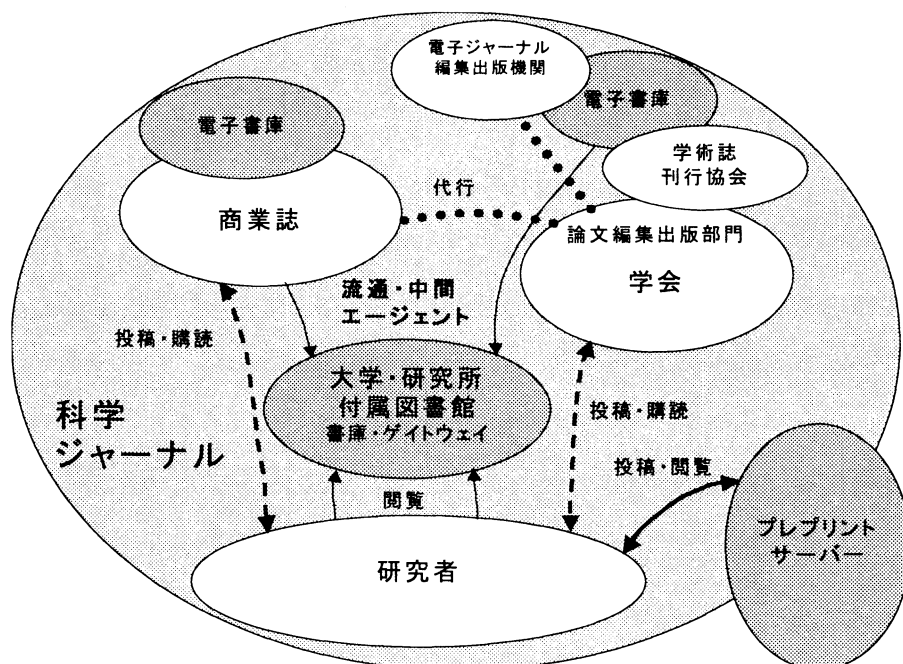
3.1 はじめに

科学技術研究におけるコミュニケーション(以下、科学コミュニケーション)は、研究者間の個人的なもの、研究会や学会での発表、科学ジャーナルへの論文発表、教育、研究費の申請、研究ポストへの応募、社会と科学をつなげるという意味でのサイエンスコミュニケーションなど幅広い。その中でも、学会などの研究者コミュニティが担う科学ジャーナルの公刊は、研究者間の最も重要なコミュニケーションの手段の一つで、研究を進展させていく上で重要なものである。また、一方でそれを継続的に収集し利用できるようにする図書館は、所有する文献のみならず、図書館間相互貸借(ILL)などにより購読していない文献も入手できることを研究者や学生にある程度保証してきた。通常、図書館や企業などの機関購読者の支払う購読料は個人購読者の場合に比べてかなり高く、科学ジャーナルの刊行費用の多くを占めている。

科学ジャーナルは 17 世紀以来、科学者の重要なコミュニケーション媒体として機能してきた。

図表1に示すように研究者から投稿された論文は、ジャーナルに掲載されるため学会や商業誌の編集出版部門により編集される。印刷・刊行されたジャーナルは中間エージェントを経て直接読者あるいは図書館で購入される。図書館は分類、配架し、読者の利用に供する。このシステムは長い間、継続的なジャーナルの刊行・購読を支え、研究者間のコミュニケーションの根幹を担ってきた。編集段階での peer review という同じあるいは近い分野の匿名の研究者による査読システムは、情報をフィルタリングすることで、掲載論文の質を維持しジャーナルの価値を高めるため必要だと考えられている。実際 peer review を受けジャーナルに掲載された論文はその著者の研究業績の一つとしてカウントされる。多くの科学ジャーナルでは、peer review は研究者のボランティアで支えられている。

図表1 科学ジャーナルによるコミュニケーション



しかし、科学ジャーナルのシステムを支える学会・出版社・図書館・中間エージェンツなどは、論文などの科学技術情報の急増や情報技術の発達により顕在化してきた課題に直面しており、これらへの対応を迫られている。

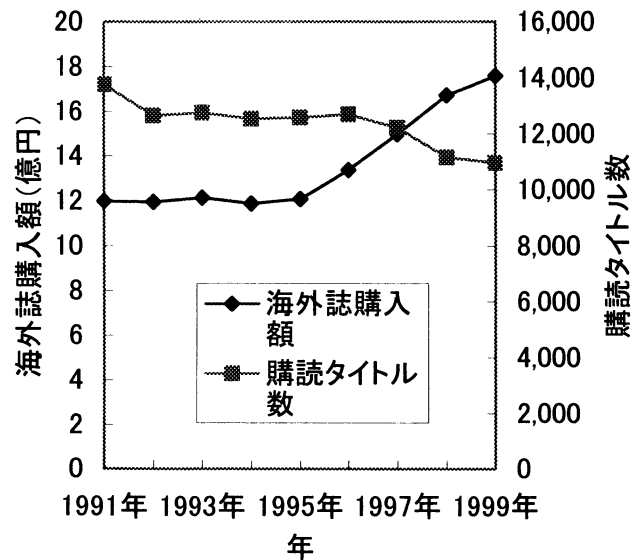
本稿では、まず科学ジャーナルの抱える問題とそれに関連する現況を解説する。つぎに、電子化などの科学コミュニケーションに関する各機関の取り組みを紹介する。最後に、科学コミュニケーションの発展のために必要な取り組みを提起したい。

3.2 科学ジャーナルとそれを取り巻く状況

3.2.1 図書館における科学ジャーナル購読数の減少

日本学術会議の指摘にもあるように、1990年頃から各大学図書館等の定期刊行物の購読数が急激に減少し始めている[1]。国立国会図書館の報告では、「(海外誌の)継続受入数は1990年代に入ってからずっと減少しており、今(1999年)ではピーク時の4割程度になっている」ことが指摘されている[2]。図書館の雑誌購入予算の伸びに比べて、特に海外誌の購読価格の急激な上昇が原因である。購読価格の高騰が問題になっているのは米国でも同様である。最近では電子ジャーナルと通常の冊子版の両方を組み合わせて販売されることが多いので、購読価格は更に高騰する傾向にある。そのことを示す具体例として、薬学図書館協議会(加盟40大学)の1991年以降の購読タイトル数と海外誌購入額の推移を見てみよう(図表2)[3]。全文献購入費は1991年以降47%(年率5.2%)増加しているにもかかわらず、海外誌購読タイトル数は1999年までの9年間で23%(年率2.6%)減少している。しかも、全文献購入費に対する海外誌購入額は60%(1991年)から69%(1999年)に上昇している。このように、主な機関購読者である図書館で購読雑誌タイトル数が減少していることは憂慮すべきことである。

図表2 日本薬学図書館協議会加盟 40 大学の購入状況



3.2.2 科学ジャーナルの電子化

1990年代の急速な情報技術の発達により、出版・流通形態が劇的に変化している。現在インターネットを介して、出版社は科学ジャーナルを購読者へ直接届けることが可能になりつつある。特に、科学技術関連の論文やデータベースなど情報の増加により、電子化による情報の提供・流通(コミュニケーション)は更に進展を早めることが予想される。電子化のメリットは、最新の論文を即座に入手できることや、図書館へ出向いて調べなくても論文が入手できること、膨大な文献の中からキーワード検索などで欲しい情報を入手できることなどである。電子化された論文は引用される回数が増えるという分析結果があり、電子化は科学コミュニケーションの向上に大きく寄与する可能性が指摘されている。また、図書館では今後蔵書を保管する場所が不足することが予想され、過去に刊行された冊子版の電子化を積極的に進める動きがある[4]。

電子化・オンライン化の利点を用いるため多くの新しい試みが始まっている。しかし、これまでの冊子体をベースにしたシステムでは考えられなかった問題も明らかになりつつある[5]。

3.2.3 国内学会の会員の減少

現在会員数が減少している理工系学会は多い。例えば、応用物理学会、日本化学会では個人会員がそれぞれ毎年 3.5%、0.7%の割合で減少している。経

経済動向を反映して企業などの機関会員は更に大きな割合で減少している[6]。また、情報系の学会では、会員数が減少しているばかりではなく、全国大会や研究会への参加者数や研究発表数も減少傾向にあり、学会運営費収支が悪化していることや、いくつかの学会誌の間では投稿される論文の取り合いが生じていることが指摘されている[7]。金融を中心としたバブル崩壊が学会運営問題の遠因であると考えられている。このような状況を打開すると同時に新しい学会のあり方を模索するため、学会の統合が進められている[7]。

3.2.4 日本の学会誌の動向

日本の科学ジャーナルがどのくらい読まれているかをしめす指標として、ジャーナルの被引用回数とインパクトファクターを、1999年に刊行された論文についてISI社のJournal Citation Reports 1999 Science Editionから見てみよう。

最も被引用回数が多いのは、わが国では日本応用物理学会英文ジャーナル「JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REV」の2,928回/年、世界では「JOURNAL OF BIOLOGICAL CHEMISTRY」の39,971回/年であることが分かる。また、被引用回数で見たジャーナルトップ10のうち、わが国のジャーナルはすべて学会誌であるが、世界のジャーナルでは4誌が商用誌である。

次に、論文一本あたりの被引用回数を表すインパクトファクターの高さで、読者の注目度を推察してみよう。わが国、世界のジャーナルトップ10から、最もインパクトファクターが高いのは、わが国では日本植物生理学会の英文ジャーナル「PLANT AND CELL PHYSIOLOGY」の2.26、世界では「ANNUAL REVIEW OF IMMUNOLOGY」の47.56である。また、インパクトファクターで見たジャーナルトップ10のうち、わが国のジャーナルはすべて学会誌であるが、世界のジャーナルでは9誌が商用誌である。

以上から、インパクトファクターが高い世界のトップジャーナルに相当するものは、残念ながら日本にはないことがわかる。

3.3 科学ジャーナルを巡る議論

日本の図書館における科学ジャーナルの購読数減少は、購読価格の上昇に比べて図書館などの機関購読者の予算が増えていないからである。一方、

米国研究図書館協会(ARL)に所属する図書館では、購読タイトル数をできるだけ減らさないような措置がなされているようだ。ARLの統計によれば1986年から2000年の間に科学ジャーナル購入費は2.9倍(年率8.0%の増加)にすることで、その間の購入タイトル数減少を7%(年率0.47%)に止めている(図表3次頁)。ちなみに、同期間に購入した単行本単価が年率3.7%増であるのに対して、ジャーナルは同8.8%増という2.4倍も大きな数字を示しており、ジャーナル購読価格の高騰が際立っている[8]。また、同期間に全購入総額に対する雑誌購入額の比率は、58%から73%に増加している。

科学ジャーナル価格高騰の原因としては、(1)研究機関からの研究成果(論文など)の増加にともなう編集出版費用の増加、(2)世界的な出版産業界における買収・合併による市場寡占による要因、(3)最近では電子化のための費用がかかっていることなどが考えられる。

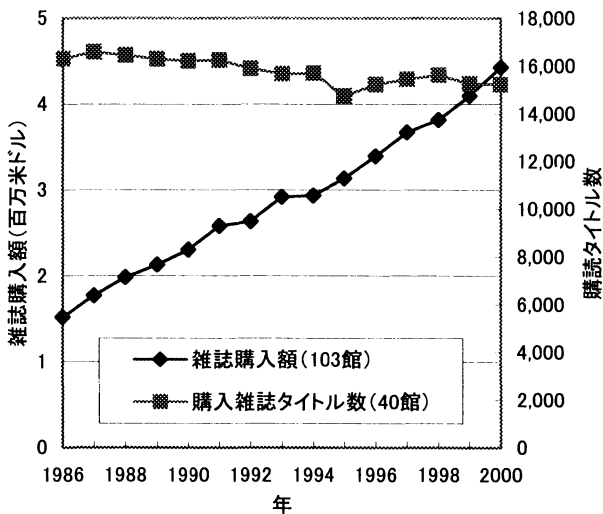
原因(1)の具体的な数字を見てみよう。米国の統計では1975年から1995年の間に科学ジャーナルの数は62%増加している。その間に科学技術の研究者は2倍に増加し、研究者当りの論文ページ数は70%増加している[9]。日本では1981年から1999年の間に研究者数は2倍になり、論文数は2.6倍になっている。このような恒常的な研究者数および論文数の増加は欧州でも同様である[10]。

原因(2)は、米国科学図書館協会(ARL)[11]や日本の図書館団体[12]によって指摘されていることである。現在、価格高騰を含めた科学ジャーナル問題が、欧米の図書館や出版社、学会、ジャーナル編集者、情報科学の研究者などを巻き込んでネット上で議論されている[5]。価格高騰以外にも、「(出版社などの)著作権所有者の知的財産(特に電子化されたもの)への権利がどこまでおよぶか」、「税金や企業の資金を得て行った研究成果に基づく論文の場合、その著作権は誰に帰属すべきか」、「編集や電子化の費用は誰がどれくらい負担できるのか」といった問題についての議論があり、今後の科学ジャーナル問題に対処する上で注視する必要がある。

日本でも多くの学会が会員の研究成果を広く世界に発信するために欧文学会誌を発刊している。しかし、このまま発行部数が減少し続けていけば、学会誌の刊行は近い将来学会運営を圧迫すると考えられている[13]。基盤が弱く購読数の少ないジャーナルは、価格の高騰により購読数が減少し、それにより購読価格

がさらに高騰し、さらに購読数が減少するといった悪循環に陥り、最終的に刊行できなくなる事態が生じることも憂慮されている。このため日本では、購読数が減少する中、学会誌のオンライン化や情報技術を学会の運営などに積極的に取り入れることなどに躊躇する学会も多い。

図表3 米国 ARL 所属図書館の資料購入総額



3.4 各機関の取り組み

ここでは、まず、出版側の例として先進的な取り組みで知られている米国物理系学術出版協会(AIP)と、日本政府の電子化への取り組みおよび最近設立された物理学系学術出版協会(IPAP)について紹介する。次に主な購読者である図書館(と中間エージェント)、最近急速に注目を集めているプレプリントサーバーについて紹介する。

3.4.1 米国物理系学術出版協会(AIP)

AIP は 1931 年に設立され、物理および工学系の学会に対して、学会誌の出版と配送の業務を提供することを主目的とする非営利法人である。会員学会は米国物理学会 (APS)をはじめとする 10 学会(総会員数約 12 万 5 千人)である。また、AIP は 22 の関連学会の活動にも協力をしている。

研究者が論文を提出し、それが出版され、広く購読されるまでの過程を追いながら、AIP がそれぞれのプロセスをどのように電子化しているかを説明しよう。研究者が論文を記述する際に利用する Word2000 の下で

動くツールキットを、AIP は 2000 年 4 月にリリースした。このようなキットの普及で電子的な提出は増加する傾向にある。2000 年には 50%が電子的に提出されている。いくつかのジャーナルでは、その比率は 90%に達している。論文中の図面についても 48%が電子的に提出されるようになっている。タイプのし直しが不要になり、それだけ間違いが減り、また経費が節約され、出版までの時間が短縮されるなどの利点がある。電子化でスピードアップされた結果、いくつかの論文は予定号よりも早く出版されるようになっており、これは非常な好評を得ている。採録決定から出版までの平均日数は最短で 25 労働日、平均で 30 労働日程度である。印刷所に最終稿が送付されると翌日にはオンラインで閲覧が可能になる。図書館にジャーナルが並ぶより一週間以上早い。

図書館がオンライン購読を選択すると、購読料が値引きされる。1999 年には値引き率 15%であったが、2000 年には 20%、2001 年には 25%へと拡大している。海外の図書館はオンライン購読によって郵送料を節約し、またいち早く論文を入手することができるようになった。このように、AIP が会員および関連学会ばかりではなく、図書館などの購読者の意向を踏まえた運営姿勢を強化していることは注目すべきである。

バックナンバーについてもデジタル化とオンライン提供が進んでいる。参考文献には *Digital Object Identifier*(DOI)を付けて、それを用いてその文献にリンクを張れるようになっている。AIP 名で発行しているすべてのジャーナルでその DOI が装備されている。DOI によるクロスリファレンスのシステムは、今後さらに導入が進むと考えられている。2000 年には 30 以上の出版物がオンライン・ジャーナル出版サービスの対象として追加された。現在は 16 学会の 100 以上の出版物がオンライン・ジャーナル出版サービスに組み込まれ、21 万本以上の論文が蓄積され利用されている。

オンライン契約している図書館から誰でも無料で論文がダウンロードできるようになるという見方を AIP はしていない。研究機関ならその組織の職員、大学なら学生がオンライン契約した図書館から無料でダウンロードすることができる。もし仮に一図書館から無料でダウンロードできるということになれば、だれもジャーナルを購入しないので、ジャーナル作成にかかった経費(AIP なら 49 百万米ドル)はその図書館が支払わなければいけないことになる。

AIP は、電子化した論文をホームページにそのままの形で掲載することは認めていない。著者の場合であ

っても同様である。AIP は著作権の譲渡を受けた後、それを著者にグラントバックしているので、フェアユースの範囲内であれば使用できる。しかし、ホームページに掲載できるのは投稿原稿のレベルのものである。AIP が電子出版した論文には編集という形で AIP の知識が入っているからである。

3.4.2 欧州における European Physical Journal への統合

欧州統合の際に、各国の物理学会が欧州物理学会を結成し、各国の伝統と権威あるジャーナルを統合し European Physical Journal を始めた。現在 5 つの分野に分かれている。将来は、英国物理学会 (IOP) との合同も視野に入れ、物理系学術誌の統合へ向けた検討が進んでいる。米国の科学ジャーナルの国際化が進んでいる中、欧州にそれに対抗するジャーナルが誕生していることは注目すべきである[13]。

3.4.3 日本の物理系学術誌の動向

最近の日本を含めたアジアにおける科学技術論文数は著しく増加しており、日本でも欧米のように学術出版事業を行う非営利団体を創設すると同時に、科学ジャーナルのオンライン出版へ向けた取り組みが始まっている[13]。

日本物理学会と応用物理学会の働きかけをきっかけに、政府の取り組みは、1998 年度予算による「オンライン・ジャーナル編集・出版システム (NACSIS-OLJ)」(文部省-現文部科学省-)と「科学技術情報発信・流通総合システム (J-STAGE)」(科学技術庁-現文部科学省-)に始まった。(両者の機能は今年中に統合される予定である。)

その後、物理系の学会を中心に、物理系学術誌刊行協会 (IPAP) が設立された。現在 IPAP には Journal of Physical Society of Japan (JPSJ、日本物理学会、会員数:19,000)、Progress of Theoretical Physics (PTP、京都大学基礎物理学研究所と日本物理学会が発行母体)、Japanese Journal of Applied Physics (JJAP、応用物理学会、会員数:23,000)、Optical Review (OR、日本光学会、ただし応用物理学会の分科会、会員数:2,000) の 4 誌が参加している。

IPAP 発足前 (1998 年) の各誌の刊行費用は、JPSJ で 1 億 3 千万円、PTP で 9,500 万円、JJAP で約 3 億円、OR で 1,100 万円となっている。各誌とも刊行に関する収支は現在のところ均衡しているが、恒常的な会員数の減少、購読数の減少、刊行費用の漸増により

収支は今後悪化することが予想されている[13]。収入の内訳はおおむね、購読料、国庫補助金、別刷代 (投稿料)、個人会員費などからなっている。

現在海外からの JJAP への投稿は約 3 割であり、アジアからの投稿が多い。英文の校正サービスも行っている。今年 7 月には JJAP に特化した投稿・査読・編集・会計のトータル Web システムが完成し、紙の原稿などのやり取りが不要になっている。しかし、参加学会誌ごとに編集方法が異なり、汎用的なオンライン編集システムを構築するには至っていない。IPAP は最近、米国の AIP や APS と協力して、いくつかの電子ジャーナルから超伝導物質に関する論文を選び、自動的に各電子ジャーナルへリンクさせる仮想的なジャーナル、すなわちバーチャル・ジャーナル「Novel Superconducting Materials」を刊行している。

JJAP の電子ジャーナルは、冊子版の発行の 1 ヶ月後に公開 (フリーアクセス) されている。AIP と異なり、冊子体発行後しばらくしてからオンライン・ジャーナルが公開されるのは、主な購読者が図書館などの冊子体購読者であり、冊子体より早くオンライン・ジャーナルが公開されたら、だれも購入しなくなるのではないかと危惧しているからである。同様に JPSJ でも冊子体発刊後に電子ジャーナルにフリーアクセスが可能になっており、1992 年までさかのぼり閲覧できる。現在のところ出版と電子化にともなう費用のほとんどは両誌とも機関購読料でまかなっている形だが、将来費用の増大がある場合は電子ジャーナル閲覧に対して課金する可能性もあるようだ。過去の論文の電子化は科研費などによる補助を受けて進められている。

3.4.4 図書館と中間エージェントの取り組み

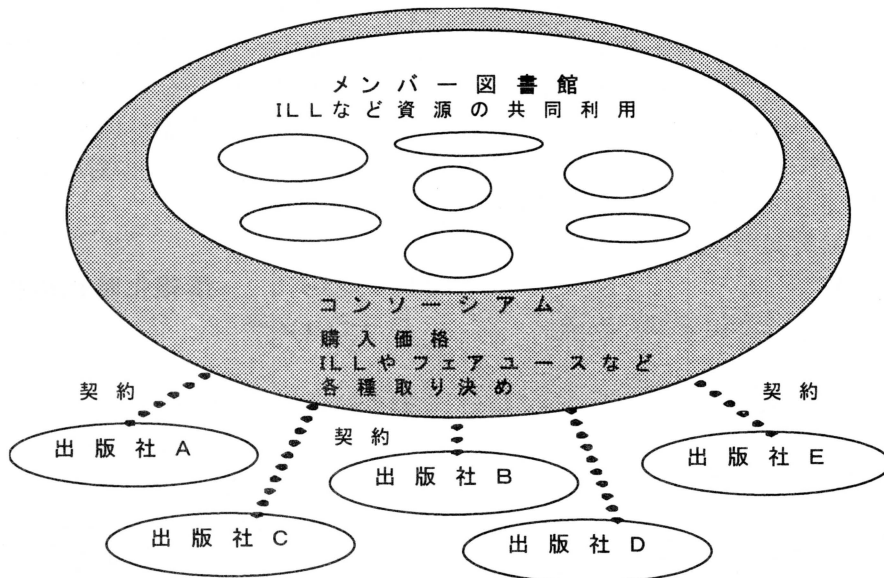
購読タイトル数の減少が顕著になってきた 1990 年代以降、日本でもジャーナルを購読収集する図書館を中心に危機意識が高まっている。

最近では多くの科学ジャーナルを所有する大手海外出版社の価格設定に対して、図書館団体が公正取引委員会に調査を依頼するなどの動きがある[14]。これまでコンソーシアム (学術資料収集利用を共同で行うグループ) による共同購入は、日本ではさまざまな理由からあまり根付いていなかった。しかし、さらなる財源確保が難しい現状であることを考慮すると、図書館が電子ジャーナルなどの電子情報資源を提供しつづけるためには、コンソーシアムによる取り組みが今後不可欠になってくることが予測されている[15]。コンソーシアムとは、複数の図書館が共同して電子情

報の購入・利用契約を出版元やデータベース業者等と結んで運用してものである(図表 4)。これは、経費

節減にはなるが、運営方法や分担金の割り当て方法などに問題があると言われている。

図表4 コンソーシアムの運営形態例



欧米では多くの図書館がコンソーシアムを結成し分担購入することにより、ジャーナル購読の継続に努力している。世界には現在約 1,000 のコンソーシアムがあり、ジャーナル書籍、電子コンテンツなどの共同購入や ILL など図書館間の資財共有や共同利用に取り組んでいる。欧米では図書館がいくつかのコンソーシアムに所属するのが普通になってきている[16]。しかし、現時点ではコンソーシアム形式の共同購入などによる図書館側の購読料の削減は大幅なものではなく、図書館側だけの努力ではジャーナル購読数の減少を解決することは難しいと考えられる。

一方、ジャーナルを発行する大手出版社とユーザーがインターネットでダイレクトに情報をやり取りし始めている現在、中間エージェントはその使命を大きく変えることを余儀なくされている。しかし、今後ユーザーの細かな要求に応じて電子化のメリットを発展させるためには、中間エージェントは重要な機能を担う可能性があると考えられる。科学ジャーナルの編集出版に関する知識を持ち、学会ごとにカスタマイズされた編集・出版サーバーシステムの構築などを担うことが考えられる。学会以外でも図書館、研究機関、大学などで活躍する領域が拡大していくと思われる。新たな領域としては、データベース化技術、データマイグレーション、著作権などの権利マネジメント、ダウンロー

ドした論文の量に応じて課金するペイ・パー・ユースシステムの構築等がある[16]。

3.4.5 プレプリントサーバー

通常、研究論文は投稿・審査(peer review)・受理・印刷・公開の手順で扱われ、受理前に公開されることは少ない。ところが、最近は審査・受理前の論文をインターネット上で公開することが多くなり、研究に先鞭をつけたい研究者は積極的に論文をプレプリントサーバーと呼ばれるインターネットに接続された論文の登録公開サービスを提供するコンピューターに投函している。さらに、審査後もそのサーバー中に残しておくことができ、自由に閲覧できる。

代表的なプレプリントサーバーとしては、Los Alamos の XXX (<http://xxx.lanl.gov/>) がある。XXX には毎月 3,000 本の論文が投稿され、XXX サーバーへの接続が 1 週間あたり 100 万回なされている。世界中から論文が投稿されている米国の物理学レター(速報)誌 Physical Review Letters が年間で 2,855 本(1999 年)であることと比較すると、いかに多くの論文が投稿されているかがわかる。また、10 回の接続のうち 1 回だけ実際に閲覧したとし、プレプリントは投稿後 6 ヶ月までの分が読まれると仮定すると、1 本の論文は 1 日あたり約 10 回近く閲覧されたことになる。XXX の

運営には現在、年間約 30 万ドルが米国科学財団 (NSF) から支給されている[5]。

XXX サーバーの成功は、電子化された学術論文を投稿・閲覧するだけであれば、そのシステムは安価に構成できること、しかも論文が読まれるチャンスが格段に大きくなること、また、その発展が科学ジャーナルのあり方を大きく変えていく可能性があることを示している[17]。しかし、プレプリントサーバーは、現在のところ永続的なアクセスが必ずしも保証されていないこと、また、情報のフィルタリングが不完全であることから、科学ジャーナルの機能と相補的であると言える。ライフサイエンス分野では、研究業績の先取権争いのために、研究結果が揃ってなくてもプレプリントサーバーに論文を掲載する例もあることが指摘されている。

3.5 電子化にともなう問題点

3.5.1 電子化された論文の著作権とフェアユース

問題は購読価格の高騰だけではない。円滑なジャーナルの出版流通や著作権の管理のために、出版社や学会出版部は通常論文投稿に併せて著者に論文の著作権の譲渡を求めている。電子化された情報の著作権とそのフェアユース(公正利用)に関しては複雑で未解決あるいは未知の問題も多いと考えられるが、電子化された科学技術情報の利用に関しては、特に研究や教育の場で利用される場合は、大幅な制限が加えられることは避けるべきだという議論がある[5]。

3.5.2 編集と電子化の費用

編集や電子化のための費用を捻出するために、安易に購読料を上げることは、購読する国内外の図書館などに負担がかかり、結果的に購読中止に追い込む可能性がある。電子化されインターネット上で閲覧される環境下では、直接出版社により論文のダウンロード数が厳密に計測できるので、それをもとに課金するシステムが使用され始めている。しかし、課金に関しては適切な仕組みが模索されている最中であり、電子化を含めた科学ジャーナルの刊行・運営費用と購読料設定の問題にはまだ決着がついていない。

3.5.3 電子書庫

電子書庫を維持し将来にわたってもその書庫へアクセスできるようにするためには、電子書庫を維持する経済的・技術的な問題点があり、専門家間で議論さ

れている。書庫の形態に関しては、あるセンターに文献を集めるセンター集積型がいいか、あるいは世界中に分散した書庫を機能的につなぐ分散書庫型が有利かはまだ結論できず、現在専門家の間で議論が交わされている最中である。両方とも一長一短あるが、欧米では最近の分散コンピューティング技術の急速な発展の流れから分散書庫型が現実的で事故によるデータの消失に対して安全だという意見が多い。

また、電子メディアを誰がどう保存するかといった問題や、電子メディア更新への対応など、解決しなければいけない問題がある。

3.6 おわりに ー情報化時代の科学コミュニケーションー

科学ジャーナルによるコミュニケーションは、科学者コミュニティ・学会・出版社・中間エージェント・図書館などの多くの機関により支えられてきた。しかし、科学ジャーナルが大きな変革を迫られている中、各機関が協同して新しいシステムを構築していかなければならない。そのために必要なことを提起したい。

(1) 電子化・オンライン化の推進

世界的に科学ジャーナルが電子化する流れの中で、日本のジャーナルもその発信力を高めるためにも、電子化は今後とも推進していくべきだと考えられる。電子・オンライン化された論文はより読まれる機会が増え、その被引用回数が増加する傾向にあることが、最近数十年に刊行されたコンピューターサイエンスの論文に関する分析により明らかになっている[5]。現在日本では、著者にとっても読者にとっても魅力のあるジャーナルの出版が望まれており、電子化のポテンシャルを生かした先進的な取り組みを推進すべきであると言えよう。

(2) アクセス障壁の排除・軽減

科学ジャーナルにおいては、研究結果を広範に発信すること、またできるだけ障壁を低くして必要としている情報(論文)へアクセスしやすくするには、特に適切な課金システムの構築などの技術的な問題およびジャーナルの刊行・電子化にともなう費用の分担方法などの経済的な問題を解決することが必要である。

閲覧・投稿の際に障壁の無いプレプリントサーバーは、特に研究が急速に進展している分野では、研究者にとって不可欠な存在となりつつあるが、科学ジャ

ーナルシステムの機能と相補的であることを踏まえ推進していく必要がある。科学技術研究を振興する上でプレプリントサーバーを運営することは、公的研究機関や国の積極的関与がふさわしい施策であると考えられる。例えば、ナノテク研究を推進する研究所が、世界に先駆けて「ナノテク・プレプリントサーバー」を主催し、科学コミュニケーションを促進することにより、世界のナノテク研究の推進に貢献することも可能であろう。ただし、その運営には優れた取り回し役“moderator”が必要である。

(3)客観的で公平で速やかな peer review の維持

編集および peer review による論文内容(科学技術情報)のフィルタリングは、効果的なクオリティーコントロールだと考えられている。客観的で公平で速やかな peer review はジャーナルそのものの信頼性を高めるばかりではなく、結果的にジャーナル刊行に携る学会など科学者コミュニティの権威を高めることにつながると考えられる。

そのことに関連する例を紹介しよう。最近、主要医学誌が企業の干渉が疑われる論文は掲載しないという声明を発表している[18]。新薬開発に膨大な投資をする企業の資金提供による研究が増え、研究や論文内容に企業が深く関わるケースが多くなり、その企業にとって都合の良い情報だけ発表されることが懸念されるからである。このように、通常研究者はさまざまな圧力・干渉の中で研究を遂行しており、著者である研究者自身のモラルを問うことも大切だが、客観的で公平な peer review が今までにも増して求められることになるだろう[19]。

(4)継続的な科学情報の提供

一方、書庫・データベースを構築する図書館や研究機関およびそれをサポートする中間エージェントの役割は、円滑で経済的なコミュニケーションを確立するために、今後益々重要になると考えられる[20]。現在および過去の文献および電子情報を閲覧できることが保証されている書庫を維持・発展させるためにも、図書館などでの科学ジャーナル購読数を適正に維持することは重要である。今後も、科学技術に関する情報が増加していくと考えられる中、「収集した資料と整理された施設を国民の利用に供する」という使命[21]をもつ図書館の機能維持・強化は、科学技術振興においても重要な基盤整備の一つと考えられ、今後の電子化の流れに対応できる機能を備えていくためにも、積極的な投資が望まれる。

参考文献

- [1] 日本学術会議情報学連絡研究委員会・学術文献情報専門委員会「電子的学術出版物の収集体制に関する緊急提言」(2000年6月)
- [2] 国立国会図書館収集企画委員会外国資料小委員会「国内における外国資料おめぐる状況：出版・図書館・研究者」(1999年3月)
- [3] 「日本薬学図書館協議会における基礎データ」雑誌問題検討委員会資料(2001年5月14日)；母良田功「『外国雑誌価格問題を考えるシンポジウム』報告」、薬学図書館 Vol.45(2000)275
- [4] JSTORE、米国 A.W. Mellon 財団
- [5] “Nature web debate, Future e-access to the primary literature”, <http://www.nature.com/nature/debates/e-access/> 日本および世界のジャーナル電子出版と、それに関する情報技術に関しては、J-STAGE の「MXL 使用検討委員会」にも詳しい報告がある。
<http://xmlweb.jstage.jst.go.jp/xmlboard/>
- [6] 学会名鑑、(財)日本学術協力財団
- [7] 情報・システムソサエティ誌、第6巻3号、電子情報通信学会、平成13年11月1日
- [8] ARL Statistics 1999-2000,
<http://www.arl.org/stats/arlstat/>
- [9] Tenopir and King, “Designing Electronic Journals With 30 Years of Lessons from print”, 1998,
<http://www.press.umich.edu/jep/04-02/king.html>
- [10] 平成12年度「科学技術の振興に関する年次報告」
- [11] M. M. Case, (時実象一訳)「ARLはSPARCプロジェクトを通して学術出版における競争を促進する」、情報の科学と技術 49巻(1999)195
- [12] 北風貴紫「外国雑誌の価格問題」図書館雑誌、Vol.94(2000)979
- [13] 応用物理学欧文誌刊行会「物理学関連学術誌電子化出版協議会活動報告書」(1999年3月15日)
- [14] 朝日新聞、2000年12月14日；殿崎正明「エルゼビア・サイエンス社の2000年-2001年雑誌円建価格問題」、医学図書館 Vol.48(2001)93
- [15] 光斎重治「逐次刊行物」第2版、(2000年)
- [16] R. Turner, “Patterns from Chaos, The Evolution of the Journal”, 2001年5月16日, ASA セミナー
<http://www.usaco.co.jp/new/asas.html>
- [17] P. Ginsparg, “Creating a global knowledge network”, Feb.20, 2001, <http://arXiv.org/blurb/>
- [18] 毎日新聞、2001年9月10日
- [19] The Economist, Sep. 15-20, 2001
- [20] 山川隆司, “Corporate and Academic Markets in Japan”, ASA 国際会議「E-コマースと雑誌購読の将来」、2001年2月26日
<http://www.usaco.co.jp/new/asa.html>
- [21] 日本図書館協会、「図書館の自由に関する宣言」1979年

4. 特集：わが国の研究成果（論文）に対する国際評価

－日本発の”一流論文”の増加－

情報通信ユニット 清貞 智会
科学技術政策研究所 第2研究グループ 富澤 宏之

4.1 はじめに

野依良治・名古屋大学大学院理学研究科教授が2001年のノーベル化学賞を受賞した。昨年の白川英樹・筑波大名誉教授（現総合科学技術会議議員）のノーベル化学賞受賞に引き続き、2年連続でわが国からノーベル賞受賞者が出たことは、わが国が着実に研究成果を挙げている証拠と言えよう。

こうした背景を踏まえ、本稿ではわが国の論文に対する国際評価を、「一流ジャーナルにおける論文シェア」、「被引用回数（分野・領域）」等により分析する。

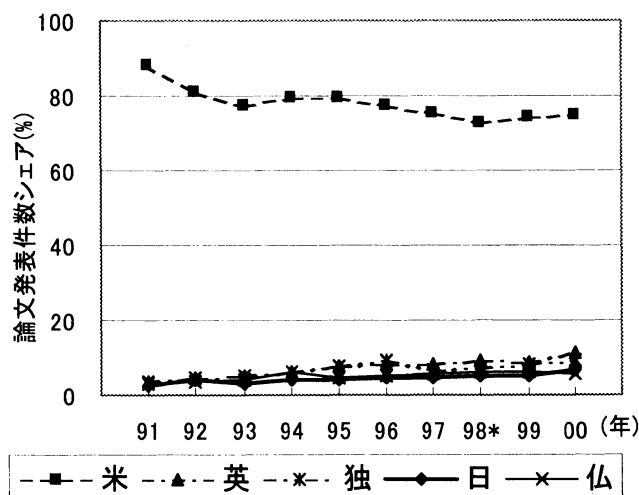
4.2 自然科学・工学全体におけるわが国の論文生産

Science の掲載論文における主要先進国のシェアを図表1に、わが国に限定したシェアを図表2に示す。また、Nature の掲載論文における主要先進国のシェアを図表3（次頁）に、わが国に限定したシェアを図表4（次頁）に示す。

なお、各論文の所属国は、著者の所属機関の所在地から判断した。共著者の所属機関の所在地が2カ国以上となる場合は、論文の所属国を重複カウントした。例えば、ある論文が3名の著者によって書かれ、1名が日本の機関に、残り2名が米国の機関に属する場合、日本1件および米国1件とカウントした。

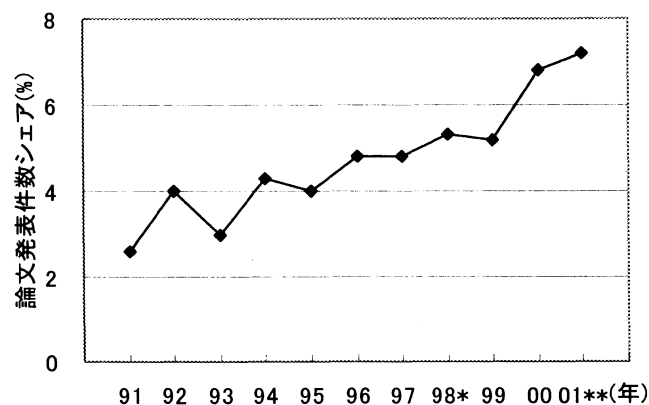
また、1991～2000年のデータは、SCIデータベースから集計したが、図表2、4の2001年のデータは、Science、Nature からそれぞれ集計した。

図表1 Science 掲載論文における主要国のシェア



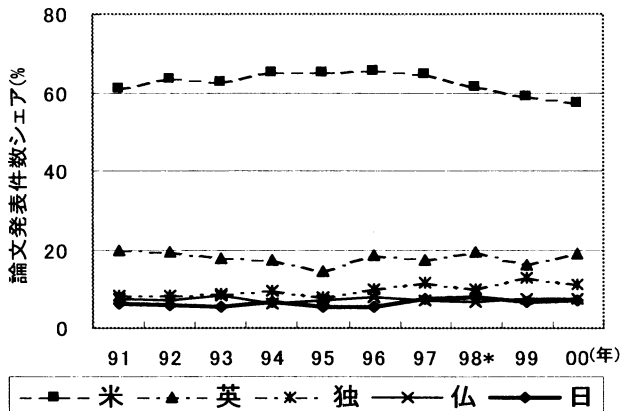
(注) ・対象論文は“Research Articles”、“Reports”および“Reviews”。
・1998年は1月～11月の11ヶ月分のみ集計。
・凡例は2000年のシェア順に表示。

図表2 Science 掲載論文におけるわが国のシェア



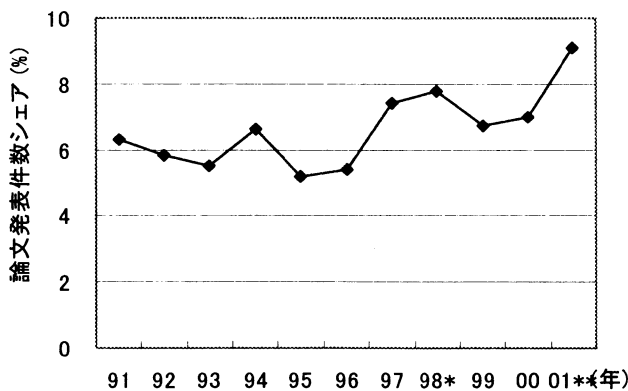
(注) ・対象論文は図表1と同じ。
・2001年は1月～6月の6ヶ月分のみ集計。

図表3 Nature 掲載論文における主要国のシェア



(注)・対象論文は“Articles”、“Review Articles”および“Letters to Nature”
 ・1998 年は 1 月～11 月の 11 ヶ月分のみ集計。
 ・凡例は 2000 年のシェア順に表示。

図表4 Nature 掲載論文におけるわが国のシェア



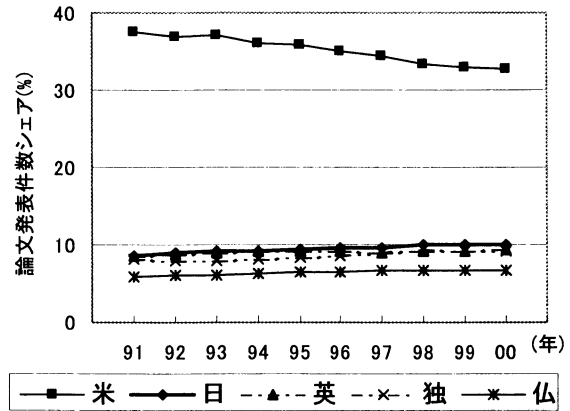
(注)・対象論文は図表 3 と同じ。
 ・2001 年は 1 月～6 月の 6 ヶ月分のみ集計。

1991年以降、Science や Nature の掲載論文におけるわが国のシェアは増加傾向にあり、特にここ2年位は一層、増加している。

次に、自然科学・工学の全分野をカバーする SCI データベースの収録ジャーナルを対象とした主要先進国の論文シェアを図表5に示す。

1991 年以降、自然科学・工学分野のジャーナルの論文におけるわが国のシェアは、10%付近を緩やかに増加している。前述の Science、Nature のシェア増加は、これに近づきつつあると見ることもできる。

図表5 主要国の論文発表数シェアの推移



・凡例は 2000 年のシェア順に表示。

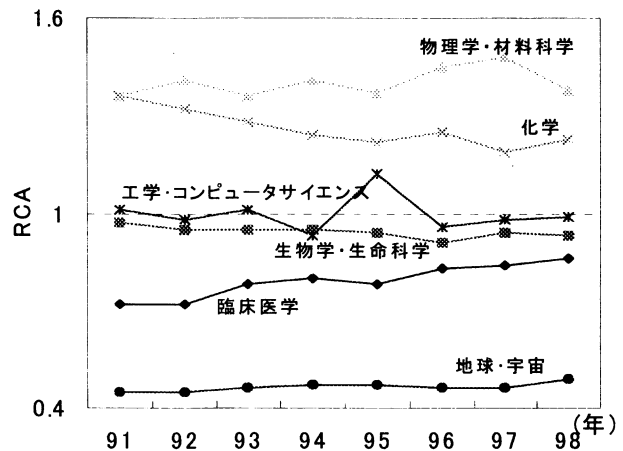
4.3 わが国の分野別論文生産

わが国の分野別 RCA (Relative Comparative Advantage) を図表6に示す。

RCA とは、ある国の対象分野の論文数が、自然科学・工学全体の論文数に占める割合を、全世界における対象分野の論文数の割合で割った値である。例えば、1997年における臨床医学分野の割合は、わが国で22.2%、全世界で26.4%であり、わが国の同分野の RCA は $22.2\% \div 26.4\% = 0.841$ となる。RCA が1を超える分野は、わが国が力を入れている分野であると言える。

わが国の RCA は、物理学・材料科学分野および化学分野で高く、地球・宇宙分野、臨床医学分野、生物学・生命科学分野では低い。

図表6 わが国の分野別 RCA



出典：NSI データベース(Deluxe, 1981-1998)をもとに科学技術政策研究所が集計。

科学技術指標(H12 年度) 科学技術政策研究所

4.4 被引用回数による分野別の機関ランキング

ISI 社が1991～2000年の論文の被引用回数による機関ランキングを、生物学・バイオテクノロジー、微生物学、分子生物学・遺伝学、免疫学、神経科学、臨床医学、薬学、動植物学、農学、コンピュータ科学、環境、材料科学、エンジニアリング、地球科学、宇宙科学、物理、数学、化学、心理学の19分野で行った結果、トップ5にわが国の機関がランクインしたのは、生物学・バイオテクノロジー、材料科学、物理、化学の4分野である(図表7)。

これらのうち材料科学、物理、化学はわが国のRCA が高い分野であり、わが国が力を入れている分野には、世界をリードする機関があることが分かる。

図表7 被引用回数による機関ランキング

(1) 生物学・バイオテクノロジー

順位	機関	被引用回数	論文数
1	HARVARD University(米)	184786	7325
2	University of Texas(米)	149017	8009
3	UCSF(米)	93710	3952
4	東京大学(日)	79673	5571
5	NCI(米)	72923	2966

(2) 材料科学

順位	機関	被引用回数	論文数
1	東北大学(日)	13889	3231
2	IBM(米)	13160	1369
3	UCSB(米)	12001	871
4	MIT(米)	11723	1506
5	University of Illinois(米)	9826	1328

(3) 物理分野

順位	機関	被引用回数	論文数
1	AT&T(米)	98264	4921
2	東京大学(日)	92058	10920
3	IBM(米)	87982	4649
4	MIT(米)	86292	6462
5	CERN(スイス)	85319	5937

(4) 化学分野

順位	機関	被引用回数	論文数
1	UC Berkeley(米)	57039	3846
2	京都大学(日)	56981	7215
3	東京大学(日)	56860	6781
4	University of Texas(米)	50919	4052
5	University of Cambridge(英)	48634	4287

出典：Science Watch Vol. 12, No. 4, July/August 2001, ISI

4.5 ナノテクノロジーに関する論文動向

前章では既存の分野ごとに被引用回数が多い論文を輩出している機関を概観したが、最先端の研究テーマは、既存の分野に収まらない境界領域や融合領域で進んでいることが多く、従来の手法では論文の引用動向について分析することが困難である。

本章では、最近、国内外で脚光を浴びているナノテクノロジーの論文の引用動向について、ISI 社が独自に集計した結果をもとに概観する。

同社が、SCIデータベースから1991～2000年に発表された論文のうち、タイトルや著者が記したキーワードに“nano”が含まれる論文 32,605 件を取り出し、被引用回数によるジャーナルランキングを行った結果、図表 8 となった。

図表 8 から、自然科学全般を対象とする Science や Nature を除くと、物理分野、化学分野、材料科学分野のジャーナルがトップ 10 にランクインしていることが分かる。

図表8 ナノテクノロジーのジャーナルランキング

順位	ジャーナル	被引用回数	論文数
1	SCIENCE	13341	237
2	APPLIED PHYSICS LETTERS	12586	1132
3	NATURE	11312	192
4	PHYSICAL REVIEW B	9525	820
5	PHYSICAL REVIEW LETTERS	8023	424
6	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY	6422	182
7	JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY	5582	270
8	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	5415	825
9	CHEMISTRY OF MATERIALS	5392	405
10	NANOSTRUCTURED MATERIALS	4893	1099

出典: Essential Science Indicators of “Nanotechnology” ISI, 2001年10月

同様に国別、機関別、著者別のランキング結果は、図表9のとおりである。

図表9 ナノテクノロジーの国・機関・著者ランキング

(1) 国別ランキング

順位	国	被引用回数	論文数
1	米国	92108	9993
2	日本	26267	4251
3	ドイツ	20673	3579
4	フランス	17168	2673
5	イギリス	9466	1415
6	スイス	8233	792
7	中国	7653	3168
8	カナダ	5707	754
9	スペイン	5131	874
10	オランダ	4767	514

(2) 機関別ランキング

順位	機関	被引用回数	論文数
1	UC Berkeley(米)	6591	393
2	MIT(米)	5370	366
3	Rice University(米)	4329	156
4	IBM(米)	4305	282
5	NEC(日)	4016	140
6	HARVARD University(米)	3278	155
7	東北大学(日)	3244	485
8	University of Illinois(米)	3093	289
9	Ecole Polytech Fed Lausanne(スイス)	3092	212
10	US Navy(米)	3045	302

(3) 著者別ランキング

順位	著者	被引用回数	論文数
1	Smalley RE, Rice University(米)	3816	78
2	Alivisatos AP, UC Berkeley(米)	3084	97
3	Ajayan PM, NEC(日)	2659	63
4	Ebbesen TW, NEC(日)	2424	36
5	Thess A, Rice University(米)	2213	23
6	Gratzel M, Ecole Polytech Fed Lausanne(スイス)	1980	79
7	飯島澄男, NEC(日)	1959	75
8	Rinzler AG, Rice University(米)	1937	36
9	Dai HJ, Rice University(米)	1851	31
10	井上明久, 東北大学(日)	1719	184

出典: ISI・Thomson Scientific 社報告 (2001年10月)
Essential Science Indicators of “Nanotechnology”

わが国は、国、機関、著者トップ10にそれぞれランクインしている。

4.6 おわりに

ScienceやNatureの掲載論文に占めるわが国のシェアは増加傾向にあり、わが国において国際級の研究成果が増えていることがうかがえる。無論、両誌におけるシェアだけでは、わが国の研究成果の評価に不十分である。しかし、両誌は自然科学全般を対象とし、かつ国際的に一流と認められているため、国別シェアは、研究成果の評価における一つの注目すべき指標となろう。

また、ナノテクノロジーに注目すると、過去10年間、わが国は世界中で注目される論文を輩出してきた。このような学際領域の論文動向の分析は、既存の分野概念に沿って構築されたデータベースでは困難であったが、今回ISI社が用いた手法を利用することで、他の学際領域(バイオインフォマティクスやシステム生物学等)におけるわが国の論文の国際評価を推測することが可能であろう。

科学技術動向研究センターのご紹介

科学技術動向研究センターとは

平成 13 年 1 月より内閣府総合科学技術会議が設置され、従来以上に戦略性を重視する政策立案が検討されています。科学技術政策研究所では、戦略策定に不可欠な重要科学技術分野の動向に関する調査・分析機能を充実・強化するため、1 月より新たに「科学技術動向研究センター」を設立いたしました。

本センターでは、第2期「科学技術基本計画」に示されたライフサイエンス、情報通信等の重点分野の最新動向に係る情報の収集や今後の方向性についての調査・研究に、下図に示すような体制で取り組んでいます。

センターがとりまとめた成果は、適宜、総合科学技術会議、文部科学省へ政策立案に資する資料として提供いたします。

センターの具体的な活動は以下の3つです。

(1)「科学技術専門家ネットワーク」による科学技術動向分析

わが国の産学官の研究者を「専門調査員」に委嘱して(7月 1 日現在 2670 人)、インターネットを利用して科学技術動向に関する幅広い情報を収集・分析する体制「科学技術専門家ネットワーク」を3月 16 日より運営しています。このネットワークを通じて、専門調査員より国内外の学会合、学術雑誌などで発表される研究成果等、注目すべき動向や今後の科学技術

の方向性等に関する意見等を広く収集いたします。

これらの情報に、センターが独自に行う調査・研究の結果を加え、毎月 1 回、「科学技術動向」としてまとめ、総合科学技術会議、文部科学省を始めとした科学技術関係機関等に配布いたします。なお、この資料は<http://www.nistep.go.jp>においても公開します。

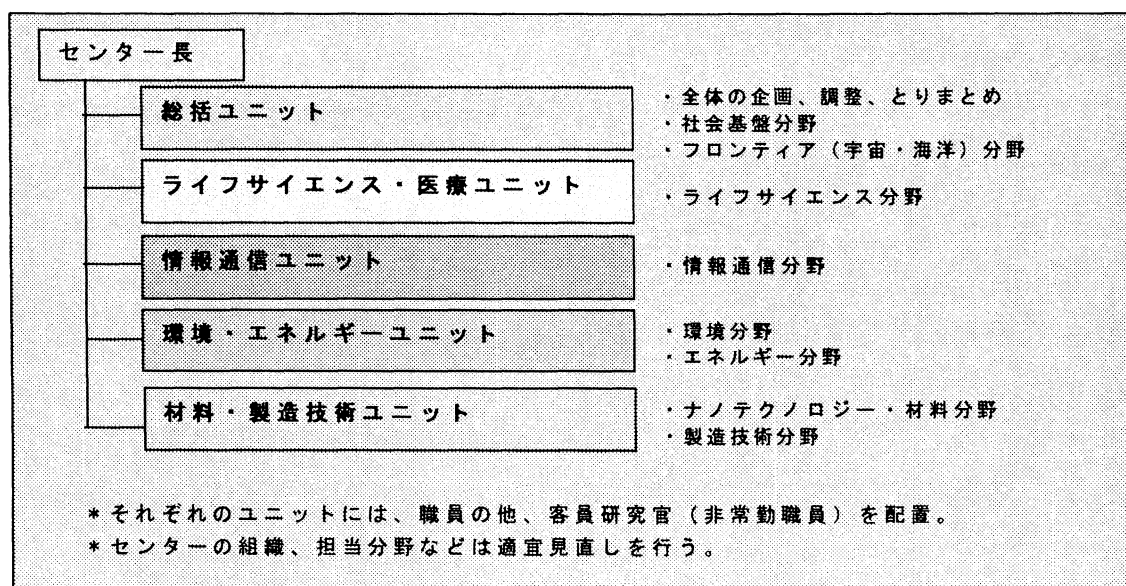
(2)重要科学技術分野・領域の動向の調査研究

今後、国として取り組むべき重点事項、具体的な研究開発課題等を明確にすることを目的とし、重要な科学技術分野・領域に関するキーテクノロジー等を調査・分析します。

さらに、重要な科学技術分野・領域ごとの科学技術水準を欧米先進国と比較し、わが国の科学技術がどのような位置にあるのかについての調査・分析も行います。

(3)技術予測に関する調査研究

当研究所では、科学技術の長期的将来動向を総合的に把握するため、デルファイ法による技術予測調査をほぼ5年ごとに実施しています。これは、今後 30 年間の重要技術を抽出して、重要技術の重要性評価や実現予測時期を分析するものであり、センターは、多くの専門家の協力により本調査を引き続き実施いたします。



**※このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレス
または電話番号までお願いいたします**

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

November 2001

(NO.8)

Science & Technology Foresight Center
National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

文部科学省科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター
連絡先: 〒100-0013 東京都千代田区霞が関 1-3-2
電話 03-3581-0605
FAX 03-3503-3996
URL <http://www.nistep.go.jp>
Email stfc@nistep.go.jp

NISTEP

Science & Technology Foresight Center
National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

TEL 03-3581-0605 FAX 03-3503-3996
URL <http://www.nistep.go.jp> E-mail stfc@nistep.go.jp